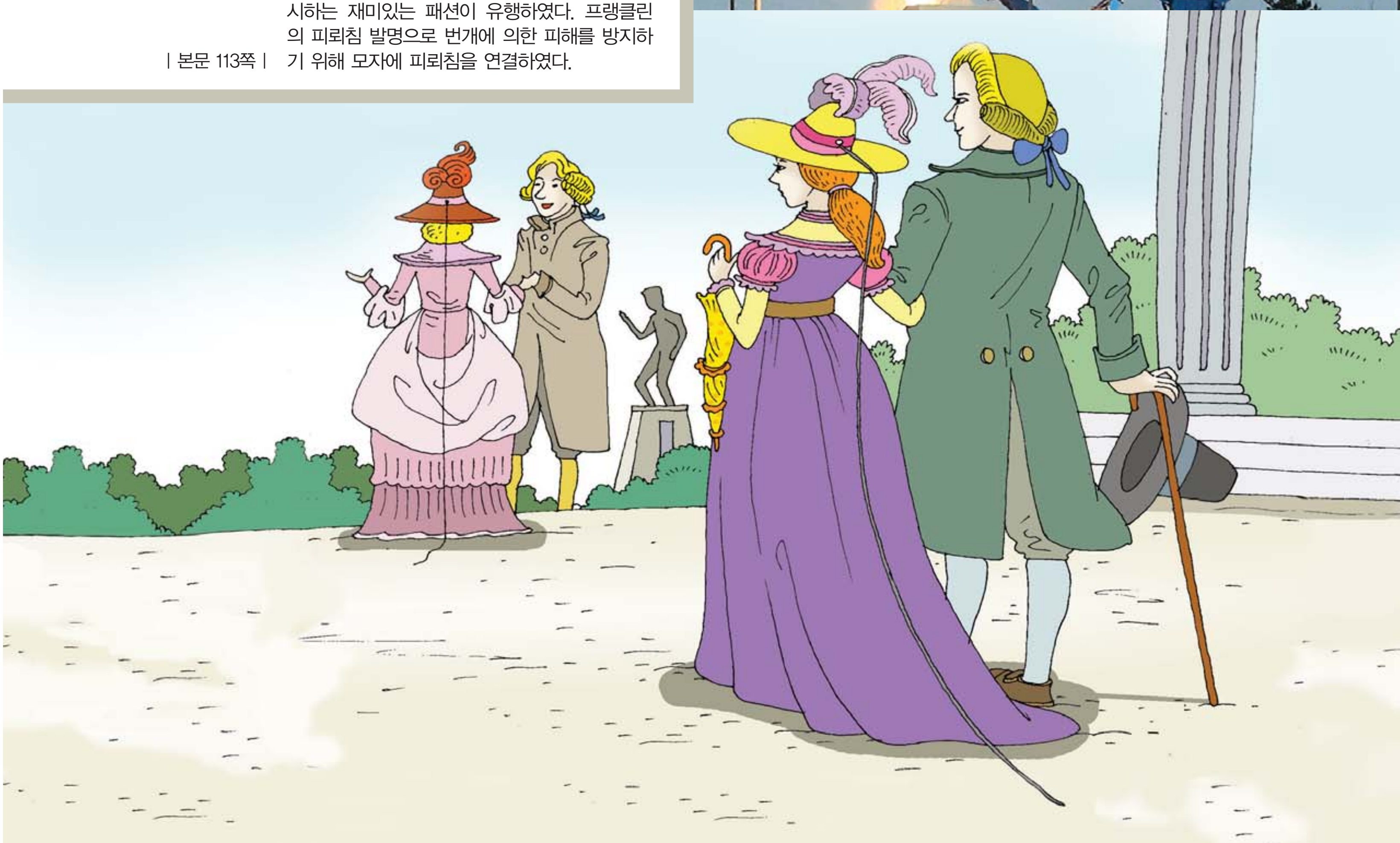


Ⅰ. 시공간과 우주 | 본문 88쪽 |

대한민국 첫 우주 발사체 나로호(KSLV-Ⅰ)가 전남 고흥군 외나로도 나로 우주 센터에서 발사돼 하늘로 솟구치고 있다. 2010. 6. 10



Ⅱ. 물질과 전자기장 | 본문 113쪽 |

18세기 유럽 상류 사회에서는 과학적 지식을 과시하는 재미있는 패션이 유행하였다. 프랭클린의 피뢰침 발명으로 번개에 의한 피해를 방지하기 위해 모자에 피뢰침을 연결하였다.







Ⅲ. 정보와 통신

| 본문 173쪽 |

소닉 붐(sonic boom)은 보통 항공기의 초음속 비행에서 발생하는 폭발음을 의미한다. 소닉 붐은 큰 에너지를 발생시키며, 폭발음처럼 들린다. 천둥은 자연적으로 발생되는 소닉 붐이며, 번개의 방전에 따른 급격한 공기의 가열과 팽창이 그 원인이다.

| 본문 227쪽 |

금산 위성 통신 지구국 전경
지구 궤도에 떠있는 통신 위성과 전파를 송수신하여 한국과 외국 사이에 통신 및 텔레비전 중계가 가능하도록 설치된 통신 중계 시설로 충남 금산군 금산읍 의총리에 있다.





Ⅳ. 에너지

신안성 변전소

765 kV 송전로는 이전에 사용되던 345 kV 송전선로에 비해 5배 가량 전력 손실이 적고, 대용량의 전력(약 8400 MW)을 공급할 수 있다는 이점이 있다.

| 본문 273쪽 |

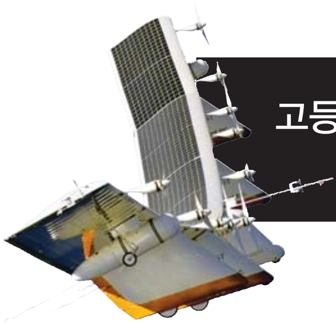
인천대교

2009년 10월 16일 완공. 총 길이는 21.38 km에 교량이 18.35 km이다. 사장교의 경간은 800 m로 세계 5위의 길이이다. 역학적 평형의 대표적인 예이다.

| 본문 315쪽 |







고등학교

물리 Ⅰ

김영민 | 김익균 | 김성원 | 박병윤
정병훈 | 박종원 | 김재권 | 권경필



머리말

물리학은 기초 과학 중에서도 가장 기초가 되는 학문이다. 많은 응용과학 분야에서도 물리학은 기초가 된다. 예를 들면, 전기공학이나 신소재 공학 분야에서도 물리가 기본이다. 더구나 현대 사회에서도 필수적이다. 생활 속의 여러 가지 전자제품의 기본 작동 원리나 자동차의 운행과 관련된 여러 가지 이해에서도 물리학은 곳곳에 스며들어 있다.

그러나 물리학은 수학적인 언어로 표현되고 추상적인 개념들을 사용하고 있기 때문에 학생들에게 늘 어려운 과목으로 인식됐다. 그러나 반드시 수학적인 언어를 사용해야 하고, 이해할 수 없는 추상적인 언어를 사용해야만 물리학을 이해할 수 있는 것은 아니다. 마치 영화를 보는데, 영화에 대한 전문 용어나 영화 제작에 필요한 전문 기술을 이해해야지만 영화를 감상할 수 있는 것이 아닌 것과 같다. 영화 자체를 좋아하고 즐길 줄 안다면 누구든지 영화를 감상할 수 있다. 여러분도 물리학을 공부할 때, 즐기고 느끼면서 공부하길 바란다. 물리 I은 이러한 점을 강조하여 집필하였다. 여러 자연현상과 물리적인 현상을 직접 관찰하면서 느끼고 체험하고, 추상적이고 수학적인 세상을 이미지로 떠올리면서 예상치 못한 결과들을 즐기면서 공부할 수 있도록 하려고 노력하였다.

물리학에서는 수식이 기본적인 언어로 사용된다. 예를 들면, '힘이 크게 작용하면….' 보다는 '5N의 힘이 작용하면….' 으로 사용하는 것이 그것이다. 이것은 마치 요리를 할 때에 '소금을 조금 넣고….' 를 '소금을 작은 숟가락 하나만큼 넣고….' 와 같이 기준을 정하는 것과 같다. 그러나 반드시 기준을 정해야만 음식을 할 수 있고, 수식을 사용해야만 물리를 이해할 수 있는 것은 아니다. 얼마든지 수식을 사용하지 않고도 물리를 기본적으로 이해할 수 있다. 이것을 '정성적인 이해' 라고 한다. 그러나 여러분이 물리를 기본적으로 이해하고 좀 더 엄밀하게 이해하고, 여러 가지 다양하고 복잡해 보이는 상황에 한결같이 적용하고 이해하려면 수식이 훨씬 편리하다는 것을 깨닫게 될 것이다. 마치 소금의 양을 정확하게 정해주면 각기 다른 상황에서 요리사가 바뀌어도 같은 음식 맛을 낼 수 있는 것과 같다. 따라서 물리학에 대한 정성적인 이해를 한 다음에 수식이라는 것이 편리하며, 이해를 도우며, 여러 가지 다양한 현상에서 적용을 한결같이 하려는 것이라는 것을 깨닫는다면, 수식을 사용하는 데 거부감이 적어질 것이다. 그럼에도, 물리 I에서는 될 수 있으면 수식을 줄이려고 최대한의 노력을 하였다.

물리학은 추상적인 언어를 많이 사용한다. 사실 '에너지' 나 '힘' 이라는 개념도 일상적으로 많이 사용하지만, 물리학에서는 엄밀하게 정의되어 있고, 종종 일상적으로 사용하는 의미와는 전혀 다르기도 하다. 따라서 물리학을 쉽게 공부하려면 먼저 추상적인 개념들의 정의와 의미를 바르게 이해하고 익숙해지는 것이 필요하다. 이것은 마치 시를 이해할 때 시에 포함된 언어의 의미를 깨달아야 하는 것과 별다르지 않다. 따라서 물리 교과서에 쓰인 말과 문장 자체를 잘 읽고 이해하는 과정은 문학과 같이 물리학에서도 꼭 필요한 과정이다. 종종 학생들이 물리학을 공부할 때에는 글로 쓰인 문장을 잘 읽지 않는 경우가 많다. 그림이나 수식에만 관심을 두거나 문제 풀이에만 시간을 들이는 경우가 많다. 그러나 물리학에서도 글로 쓰인 문장을 잘 읽고, 이해하고, 정리하는 것이 반드시 필요하다. 소설이나 시를 읽으면서 느낌이 들려고 노력하듯이, 물리학 글도 읽으면서 느끼려고 한다면 큰 도움이 된다.





물리학은 종종 그 대상이 우주와 같이 매우 큰 세상이기도 하고, 원자와 같이 눈에 보이지 않는 매우 작은 세상이기도 하다. 따라서 물리학을 공부할 때에는 보이지 않고 경험할 수 없는 세상에 대해 이미지를 그려보고 상상하는 것이 필요하다. 물리학은 자연이나 대상을 정확하게 기술하는 것을 기본으로 하지만, 오히려 자연이나 대상에 대해 무한한 상상을 하는 것도 필요로 한다. 따라서 그것이 실제로 그렇다고 또는 그래야 한다고 강요하기보다는 그럴 것이라고, 그럴 수도 있다고 가정하고 상상하는 것이 오히려 도움이 된다. 예를 들면, 여러분은 원자의 구조를 그리면서 동그란 핵을 가운데 그리고 작은 동그라미 전자가 핵 주위를 도는 그림을 본 적이 있을 것이다. 그러나 정말 핵이 동그랄까? 별 모양은 아닐까? 육면체 모양은 아닐까? 여러분은 핵을 이해하기 위해 '원래 핵은 정말로 어떻게 생겼을까?' 보다는 '핵이 별 모양이라면….' 이라고 생각하는 것이 핵을 이해하는 데 훨씬 도움이 될 수도 있다는 것을 깨닫기 바란다.

물리학자들은 10만 년 전에 출발한 별빛을 지금 보면서 우주를 생각하고, 10~30초의 짧은 시간에 일어나는 일들을 생각하기도 한다. 이러한 상황에서 상상력이 없다면 어떻게 이해할 수 있겠는가? 보이지 않는 것들은 그림으로 그려보고 가정해 보지 않으면 어떻게 이해할 수 있겠는가? 이러한 점에서 물리 I에서는 창의성을 강조하고자 하였다. 정해진 답이 없는 경우, 누구나 아는 개념을 바꾸어 보는 경우, 반대로 생각해 보는 경우 등이 그것이다. 이때 창의성이라고 해서 엉뚱한 생각만을 해야 한다고 오해해서는 안 된다. 남들이 미처 생각해 보지 못한 아이디어를 낸다고 해서, 보지 못하고 경험해 보지 못한 세상을 상상한다고 해서 엉뚱하고 이상해야만 하는 것은 아니다. 나름대로 합리적인 근거가 있어야 하고, 새로운 결과를 낳을 수 있거나, 어려운 문제를 해결할 수 있는 기능적인 측면도 갖추어야 한다. 드브로이가 '입자인 줄 알았던 전자가 파동적 성질을 가지고 있다면….' 이라고 생각한 것은 아인슈타인의 '파동인 줄 알았던 빛이 입자적 성질을 가지고 있다면….' 이란 생각을 반대로 생각했다는 측면에서 충분히 근거가 있는 것이다. 반대로 생각해도 맞는다면 자연은 대칭적이라는 큰 규칙을 따른다고 볼 수 있기 때문이다.

이번 물리 I에서는 현대 물리학 내용과 첨단과학 내용이 대폭 도입되었다. 주변에서 레이저 포인터를 볼 수 있고, 적외선을 사용하는 리모컨이 늘 있지만, 이전의 물리학 교과서에서는 이러한 첨단과학 내용이 잘 다루어지지 못했었다. 이러한 모순을 해결하고자, 이번 물리 I에서는 블랙홀이나 소립자 이론과 같은 현대 물리학의 내용, 태양 전지나 메모리 소자와 같은 현대 물리학의 내용이 대폭 도입되었다. 그러나 현대 물리학의 내용이 어렵고, 첨단과학 내용이 복잡한 것은 사실이다. 그럼에도, 이러한 내용은 학생들의 흥미와 관심을 이끌어 내기에 충분한 소재라고 본다. 블랙홀의 이해를 통해 SF 영화를 더욱더 잘 이해할 수 있고, 태양 전지를 직접 만들어 체험하면서 미래의 전지 산업에 흥미와 관심을 둘 수 있을 것으로 기대한다. 따라서 여러분은 현대 물리학과 첨단과학 내용을 어렵고 복잡하다고만 생각하지 말고, 우리의 삶과 앞으로의 세계에 밀접하게 연관되어 있다고 생각하면 쉽게 다가갈 수 있다고 확신한다.

정리하면, 물리학은 학문의 기초일 뿐 아니라, 우리의 일상적인 삶과도 깊이 연관된 학문으로서 즐기면서 이해하기를 바란다. 수식 없는 정성적인 이해도 가능하다는 점을 깨닫고, 나아가 수식은 오히려 물리학을 쉽게 다룰 수 있게 도와주는 언어라는 점을 깨닫길 바란다. 추상적인 개념과 용어에 익숙해지기 위해 물리 교과서의 글로 쓰인 문장들을 문학 책을 읽듯이 느끼면서 읽기를 바란다. 정해진 답과 실재에 억눌리지 말고 상상력과 창의력을 발휘하면서, 새로 도입되는 현대 물리학과 첨단과학의 세계를 마음껏 즐기기를 바란다.

지은이 일동



차례



Ⅰ 시공간과 우주



Ⅱ 물질과 전자기장







Ⅲ 정보와 통신



Ⅳ 에너지

부록



이 책의 구성과 특징

단원의 도입부

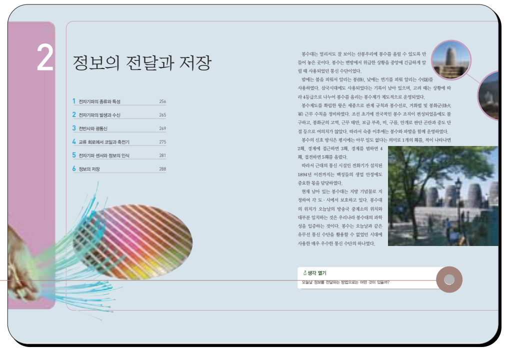
대단원 도입부에서는 대단원명과 중단원명, 관련 사진과 단원 안내로 구성하였다.

단원과 관련된 사진과 단원 안내를 실어 앞으로 배울 내용을 한눈에 파악할 수 있도록 하였다.



중단원 도입부에서는 중단원에서 배울 내용에 대한 역사적 사실이나 일상생활에서의 경험적 사실, 최근의 과학을 제시하고, 생각 열기를 통해 앞으로 배울 내용에 대한 학습 동기를 유발할 수 있도록 하였다.

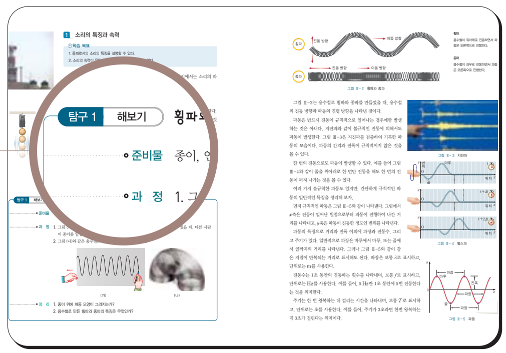
생각 열기를 통해 일상생활에서 자주 접하는 과학적 원리를 생각하도록 하였다.



단원 학습 활동

본문 학습은 일상생활에서의 경험을 과학적 원리로 설명하면서 이론적 사실로 끝나는 것이 아니라 다양한 탐구 활동을 통하여 직접 몸으로 느끼고 이해할 수 있도록 구성하였다.

각 단원에서 중요한 탐구를 선정하여 쉽고 자세하게 제시하였다. 이를 통해 과학적 문제 해결 능력을 기를 수 있다.



이 책은 4개의 대단원으로 나뉘었으며, 각 단원은 실생활에서 쉽게 접할 수 있는 소재를 중심으로 다양한 탐구 활동과 사진 자료, 그림 자료를 적절히 활용하여 물리 I 의 기본 원리를 쉽게 이해할 수 있도록 구성하였다.

단원이 시작될 때 앞으로 배울 학습 목표를 제시하고, 과학적 원리 설명의 이해를 높일 수 있도록 과학과 생활, 과학자, 과학자 이야기, 역사 속의 과학, 한걸음 더 등 다양한 과학 관련 자료를 실었다. 또 예제, 물음, 연구, 창의력과 같은 문제를 통하여 과학적 사고력과 창의력을 기를 수 있도록 하였다.

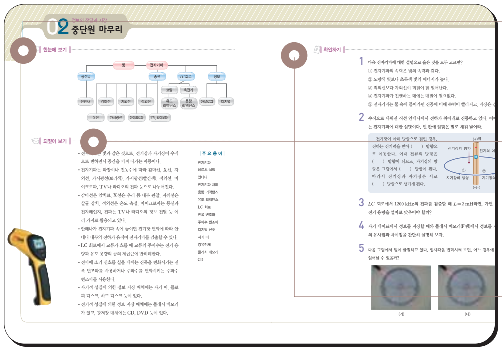
예제, 물음, 연구, 창의력과 같은 질문을 통해 앞에서 배운 과학적 원리를 스스로 확인하고, 생각할 수 있도록 하였다.

과학과 생활, 과학자, 역사 속의 과학, 과학자 이야기, 한걸음 더 등과 같은 다양한 과학 자료를 통해 본문의 과학적 원리를 쉽게 이해할 수 있도록 하였다.



단원의 **마무리**

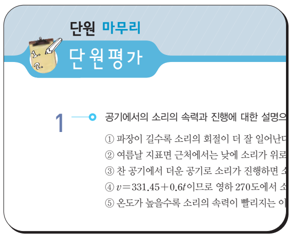
중단원 마지막에는 한눈에 보기, 되짚어 보기, 확인하기로 구성되었고, 대단원 마지막에는 단원 마무리로서 단원 평가, 창의력 평가, 과학 글쓰기로 구성하였다.



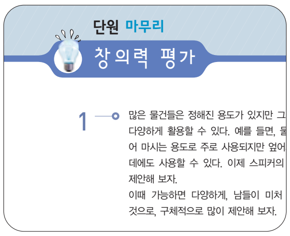
앞에서 배운 내용을 도표로 정리하여 단원의 흐름을 쉽게 파악할 수 있게 하였다.

중단원에서 배운 중요한 과학적 원리와 용어를 정리하였다. 앞에서 제시한 학습 내용을 정리해 보자.

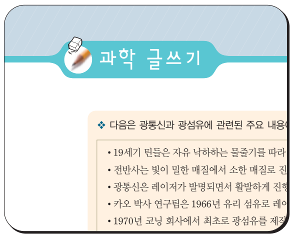
앞에서 배운 내용을 점검할 수 있도록 문제로 제시하였다. 문제를 통해 학습 목표를 점검할 수 있다.



단원 평가에서는 앞에서 학습한 내용을 전체적으로 평가할 수 있도록 하였다.



창의력 평가에서는 실생활과 밀접한 소재를 제시하여 과학적 창의력을 기를 수 있도록 하였다.



과학 글쓰기에서는 논리적 사고력과 창의력을 키울 수 있도록 과학적인 소재를 제시하고, 그에 따른 글쓰기를 할 수 있도록 하였다.

I
시공간과 우주



1. 시간, 공간, 우주
2. 시공간의 새로운 이해





뉴턴은 태양계의 행성 운동이나 사과가 땅에 떨어지는 현상 모두를 아우르는 만유인력의 보편 법칙으로 중력을 설명해 근대 과학 혁명을 이끌었다. 아인슈타인은 여기에서 한발 더 나아가 중력에서 시간의 의미를 발견했으며, 중력에 의해 시공간이 휘어진다는 사실을 일반 상대성 이론으로 규명하였다.

이 단원에서는 물리학의 기본 개념인 물체의 운동과 그 배경이 되는 시간과 공간의 개념을 이해하고, 측정 원리와 방법을 알아본다. 또한, 현대 물리학의 핵심 이론인 특수 상대성 이론과 일반 상대성 이론의 기본 개념을 이해하고, 이로부터 나타난 현상과 새로운 우주론을 알아본다.

1

시간, 공간, 운동

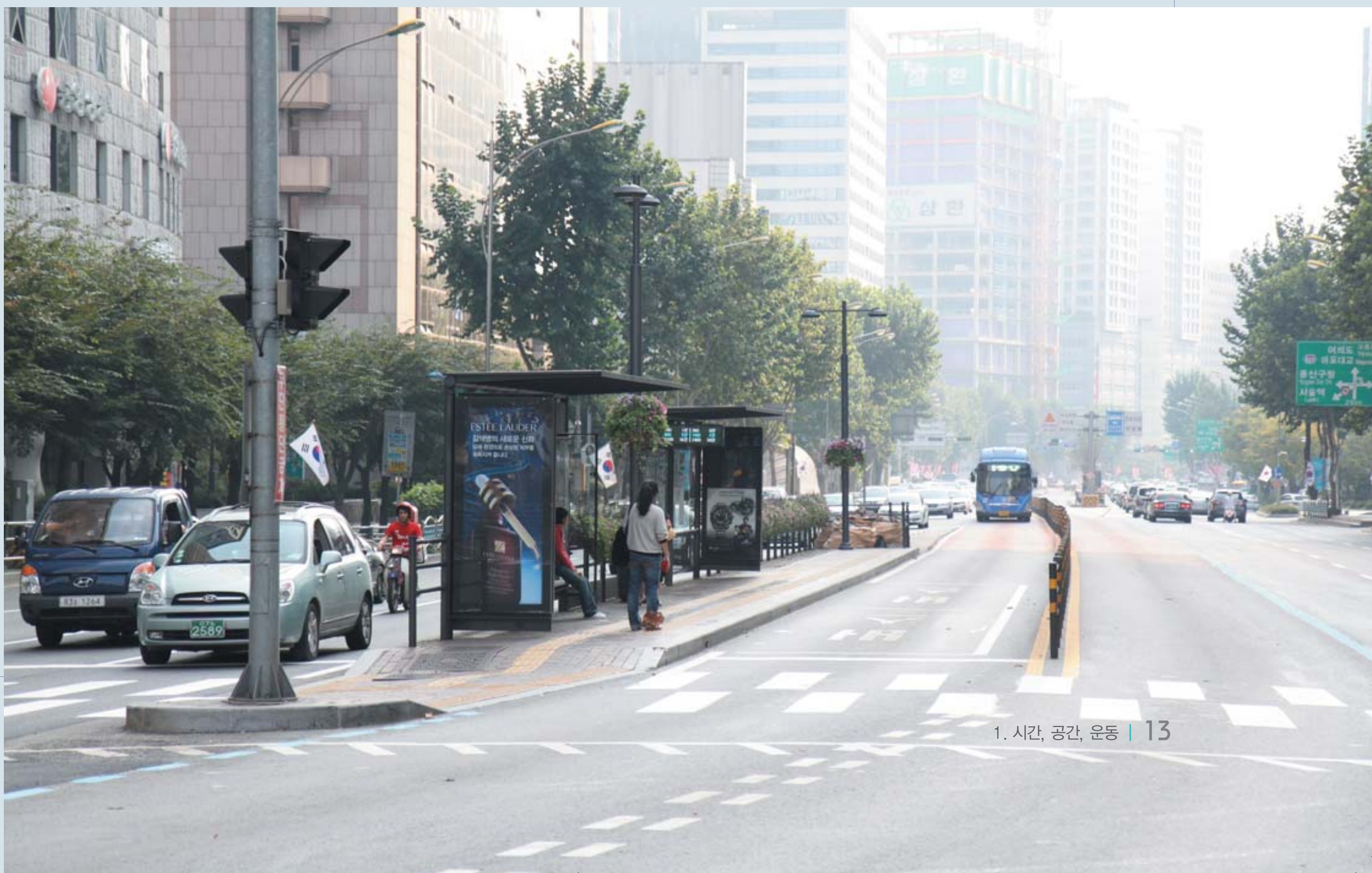
버스 정류장에서 버스를 기다릴 때 정류장으로 접근해 오는 버스의 정보를 안내 받을 수 있으면 편리하다. “750번 4분 후 도착, 420번 3분 후 도착, 510번 5분 후 도착”처럼 우리가 기다리는 정류장에 접근하는 버스의 위치에 대한 정보로 우리는 얼마를 더 기다려야 할지 알 수 있다. 또한, 지하철 정차 역에서도 “1234호 시청역 접근, 5678호 전전역 도착”처럼 다음 열차들의 위치를 알 수 있으면 아주 편리하다.





생각 열기

이렇게 정류장에 접근하는 버스나 열차들의 위치와 도착 시간을 어떻게 알고 안내를 할까?





1 시간 측정과 시간 표준

학습 목표

1. 물리학적인 시간 개념을 이해한다.
2. 시각과 시간을 과학적으로 측정하는 방법을 이해한다.
3. 국제적인 시간 표준과 이를 정하는 과정을 안다.

어떤 운동 경기는 시간을 정해서 그 시간 동안 경기를 진행하기도 하며, 어떤 운동 경기는 개인의 시간 기록을 재며 경기를 진행하는데 때로는 0.001초로 우승이 갈리기도 한다.

이러한 시간이라는 개념은 어떻게 시작되어 우리 생활에 적용되기 시작했으며, 또 어떻게 측정되는지 알아보자.

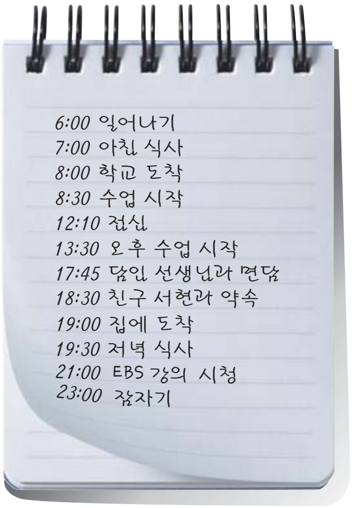


그림 Ⅰ-1 민주의 수첩에 적힌 일정

1. 시각과 시간

그림 Ⅰ-1은 민주의 수첩이다. 시간대별로 빼곡하게 적혀 있는 일정을 보면 무척 바쁘다. 아침 6시에 일어나서 밤 11시에 잠자기까지 학교 수업 외에도 여러 가지 일정이 잡혀 있다. 이처럼 특별히 해야 할 일이 이어져 하루의 일들이 정해진다. 하루에 벌어지는 일들을 일직선으로 늘어놓아 그림 Ⅰ-2와 같이 새로운 축을 구성할 수 있다. 이 축에서 일이 일어나는 점을 **시각**이라 하고, 이들 시각과 시각 사이의 간격을 **시간**이라고 한다. 그리고 이 축을 **시간축**이라고 한다. 그러나 일반적으로는 시각과 시간의 의미를 모두 시간이라고 하기 때문에 시간의 정확한 의미를 이해하기 위해서는 시간이라는 단어가 사용된 문장의 앞뒤 맥락을 참조하여 파악하여야 한다.

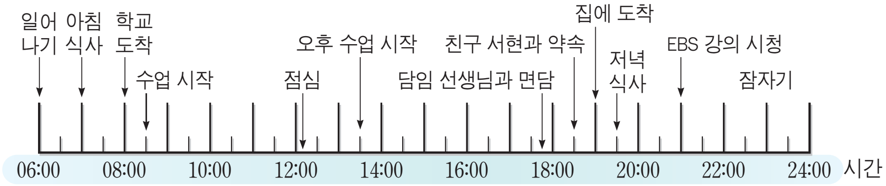


그림 Ⅰ-2 시간축: 일정을 특정 시각에 표시하였음

연구 1. 시각에는 순서가 있다고 한다. 만일 순서가 없다면 어떤 일이 일어날지 상상해 보자.

표 Ⅰ-1 SI 접두어

접두어	인자	기호
밀리 (milli)	10^{-3}	m
마이크로 (micro)	10^{-6}	μ
나노 (nano)	10^{-9}	n
피코 (pico)	10^{-12}	p
펨토 (femto)	10^{-15}	f

2. 시간의 측정

일상생활에서 많이 쓰는 시간의 기본 단위는 초이다. 1초는 세슘 원자(^{133}Cs)가 방출하는 복사선의 진동 주기를 이용하여 정의한다. 그리고 초보다 긴 시간은 분, 시간, 개월, 년, 세기 등의 단위로 표시하거나 초보다 더 짧은 시간은 밀리초(ms), 마이크로초(μs), 나노초(ns), 피코초(ps), 펨토초(fs) 등의 단위로 표시한다.

이러한 시간 단위는 상황에 따라 다르게 사용한다. 예를 들어 전자레인지에서 음식을 데우는 시간을 나타낼 때는 3분이라고 하여 분이라는 시간 단위를 사용하지만, 고속 열차를 이용하여 서울에서 부산까지 이동할 때 걸리는 시간은 3시간이라고 하여 시간이라는 단위를 사용한다. 그리고 과학에서 지구의 나이는 대략 50억 년이라고 표기한다. 이처럼 생활에서나 과학 기술에서 필요에 따라 여러 가지 다른 단위로 시간을 나타낸다.

그러면 시각과 시간은 어떻게 측정할까?

옛날 사람들은 해가 매일 뜨고 지거나 별들의 규칙적인 움직임 등을 보고 일정한 때를 알게 되었다. 우리나라에서도 옛날부터 시각을 측정하기 위해 해시계뿐 아니라 별을 이용한 시계도 있었고, 그림 Ⅰ-3과 같이 물의 낙차를 이용한 시계도 있었다. 물시계는 물을 일정한 빠르기로 흐르게 하여 모은 물을 측정하여 시간을 알 수 있게 한 시계이다. 우리나라에서는 통일 신라 시대에 물시계를 사용한 기록이 있으며, 1434년 세종대왕의 명에 의해 장영실이 만든 물시계인 자격루가 유명하다.



그림 Ⅰ-3 물시계: 물의 낙차를 이용한 시계

이러한 전통적인 시계 중 해시계의 원리를 다음의 탐구를 통해 알아보자.

탐구 1 해 보기 앙부일구 만들기

자 료 앙부일구는 사계절 모두 사용할 수 있는 해시계로, 1434년 조선 세종대왕 16년에 만들어졌으며, 대한민국 보물 제845호로 지정되어 있다. 오목한 화로 크기의 둥근 가마솥 시계판 모양이 해를 우러르고 있다고 해서 앙부일구라는 이름을 붙였다. 앙부일구를 보면 그림자가 비치는 곳이 오목하게 들어가 있으며, 그 면에는 가로와 세로로 금이 그어져 있다.

준비물 오목한 그릇(지름 30~40 cm), 빨대(길이 15~20 cm)

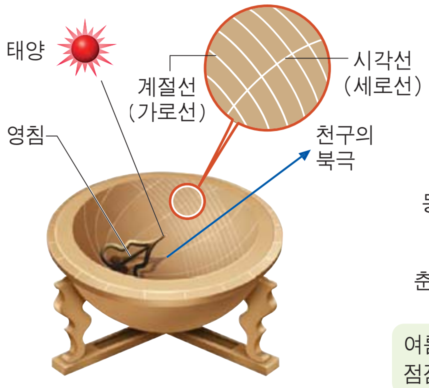
과 정

1. 오목한 그릇 바닥에 종이를 붙이고 빨대의 한쪽 끝은 그릇의 중심에 다른 한쪽 끝은 그릇의 가장자리에 고정한다.
2. 해가 비치는 쪽에 그릇을 놓고, 빨대의 끝이 북쪽을 향하도록 한다.
3. 하루 중 5시간 동안 매시각 그림자의 끝에 점을 표시하고, 표시된 점을 잇는다.
4. 1주일 뒤와 2주일 뒤에 과정 3과 같은 시간에 그림자의 끝에 점을 표시하고, 표시된 점을 잇는다.

주의 그릇이 움직이지 않도록 단단히 고정한다.

정 리

1. 하루 중 매시각 그림자의 끝은 어떻게 변하는지 관찰하여 보자.
2. 1주일 뒤와 2주일 뒤 같은 시각의 그림자의 끝은 각각 어떻게 달라졌는지 관찰하여 보자.



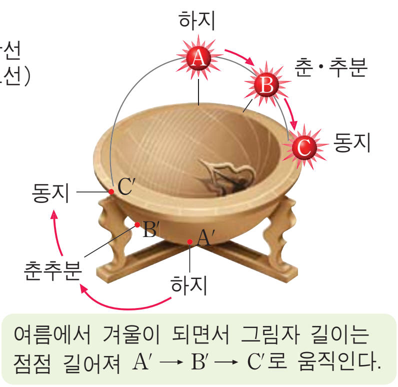


그림 Ⅰ-4 앙부일구의 원리

앙부일구는 오목하게 생겨 시각선, 계절선을 나타내는 데 효과적이다. 앙부일구가 반구 모양인 까닭은 해가 비치는 하루 동안 영침의 그림자가 바닥에 있도록 하기 위한 것이다. 그리고 계절에 따라 태양의 높이가 달라지면서 그림자의 길이도 달라진다. 그림 Ⅰ-4에서와 같이 가로선이 여러 개 그어져 있는 것을 볼 수 있다. 이때 제일 밖에 있는 가로선은 그림자의 길이가 제일 긴 동지 때를 나타내며, 바깥쪽에 제일 가까운 가로선은 그림자의 길이가 제일 짧은 하지 때를 나타낸다. 따라서 그림자가 가로선 중 어느 선을 가르키는지를 보면 계절을 알 수 있다. 하루 중 시각은 세로선을 보고 측정한다. 하루 중 이동하는 태양에 의해 생기는 그림자가 어느 세로선을 가르키는지를 보면 시각을 알 수 있다.

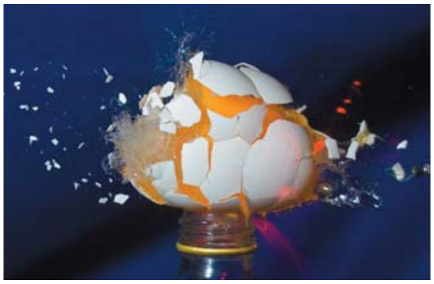


그림 Ⅰ-5 일성정시의

앙부일구 외에도 우리나라의 해시계로는 현주일구, 천평일구, 정남일구 등이 있다. 다른 시계로는 그림 Ⅰ-5와 같이 태양과 별의 위치로 시각을 측정하는 일성정시의가 있으며, 물의 낙차를 이용한 자격루가 있다.

연구 2. 일성정시의와 자격루의 시각 측정 원리를 조사하여 보자.

연구 3. 오른쪽 그림은 총알이 달걀을 뚫고 지나가는 순간을 카메라의 셔터 노출 시간을 $\frac{1}{20,000}$초 정도 주고 촬영한 사진이다. 이 정도의 짧은 시간 동안이면 달걀이 깨지면서 흐트러지는 순간을 알아볼 수 있으나, 만일 이보다 노출 시간이 긴 경우의 사진에서는 달걀 껍데기 조각의 움직임이 번져서 나타난다. 이와 비슷한 정도의 짧은 노출 시간을 주고 촬영한 재미있는 사진들을 모아 비교해 보자.



3. 현대의 시각과 시간 측정

중세에는 기계 시계가 만들어져 교회의 탑이나 왕궁, 시청, 광장에 등장하였다. 1656년에는 진자 시계가 발명되어 시계의 정밀도가 높아졌다. 과학 기술은 시각이나 시간의 측정 정밀도를 요구하게 되었고, 1940년경에는 1년에 오차가 100 μs초

이내인 수정 시계가 실용화되었다.

현대는 기술의 혁신적인 발달로 더 정확하고 정밀한 시각과 시간 측정을 위한 기구들이 개발되어 사용되고 있다. 특히 오차가 300만 년에 1초일 정도로 정밀한 원자 시계가 개발되어서 현대 과학에 크게 이바지하고 있다. GPS는 시각과 위치에 대한 정보를 전 지구적으로 동시에 공유하도록 한다.

GPS(Global Positioning System)
GPS는 미국 국방을 목적으로 개발되었으며, 24개의 인공위성으로 구성되어 있다. 각 위성에는 시각을 맞춘 원자 시계가 있으며, 원자 시계를 이용하여 어떤 물체의 위치와 고도 및 현재의 시각을 알아낸다.

연구 4. 현재 흔히 쓰이는 시계는 수정 시계이다. 이 시계의 원리를 조사하여 보자.

4. 국제적인 시간 표준

시간 표준의 역사

옛날에는 시간 표준을 지구의 자전으로 정하였다. 17세기부터 19세기 사이에는 지구의 하루 회전 비율은 일정하였다고 보았으나, 19세기경부터는 여러 종류의 천문 관측이 더욱 정밀해짐에 따라 지구의 자전속도가 점차 느려지고, 일정하지 않다는 것을 알게 되었다. 이에 의문을 제기하다가 20세기 초에 확인하게 되었다. 이후 1952년에는 시간 표준을 지구의 궤도 주기와 달의 운동과 관련된 표준 시간으로 대체하게 되었다. 1955년에 세슘 원자 시계가 발명되어 오랫동안 사용하던 천문 시간 표준을 새로운 시간 표준으로 대체하기에 이르렀다.

그리니치 평균시(GMT: Greenwich Mean Time)
세계의 모든 지방시와 관측에 쓰는 표준시의 기본이 된다.

협정 세계시(UTC: Universal Time, Coordinated)
국제 협정에 의하여 인위적으로 유지되고 있는 시각. 지구 자전에 따른 세계시의 시각을 정하기 위하여 만들어진 시간 체계이다.

어떻게 시간, 분, 초로 나뉘었나?

그리스의 과학자였던 에라토스테네스는 6진법을 써서 원을 60등분하여 지구 표면 위의 위치를 구별하였다. 1세기 후에 히파르쿠스는 북극에서 남극까지를 잇는 세로 선을 360도로 나누었다. 프톨레마이오스는 "알마게스트"에서 히파르쿠스가 한 일을 더 작은 조각으로 나누고, 이것들을 다시 60등분하여 작게 나누었다. 처음에 나눈 것을 분, 다시 이것을 나눈 것을 초라고 하였다.

그러나 수세기가 지나서야 분과 초를 시간을 재는 데 사용하였다. 초기에는 시계에 시간을 표시할 때 한 시간을 2등분, 3등분, 4등분, 12등분으로 나누기도 했지만 60등분한 경우는 없었다. 16세기 말에는 1분을 표시한 기계 시계가 처음으로 나왔다. 그러나 일반 대중이 실제로 1분 단위를 활용하지 못하였다. 오늘날 대부분 시계의 글자판에는 시 단위가 숫자로 표기되어 있으나 숫자 사이를 5등분하여 긴 바늘이 분 단위를 가리키도록 하고 있다.

고대부터 지금까지도 하루를 24시간으로 해왔으며, 1시간은 60분으로 1분은 60초로 사용하고 있다. 1초는 한때 천문 관측으로 국제 단위계(SI)에 따라 평균 태양일을 기준으로 정의하기도 했다. 1967년 제13차 국제 도량형 총회(CGPM)에서는 1초를 세슘 133 원자가 흡수하는 빛이 9,192,631,770번 진동하는 데 걸린 시간으로 확정하였다.

재미있는 것은 원자 시계를 천문 시계에 맞추려고 때때로 윤초를 더하기도 한다. 그래서 모든 1분이 60초가 아니고, 10년당 8번 정도 61초 이다.

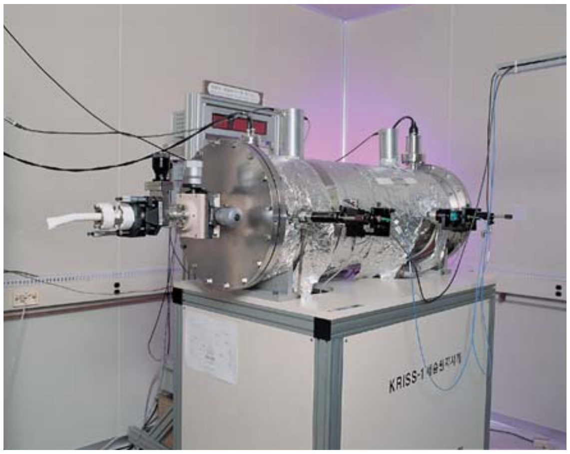
? 물음 1. 다음에서 소개된 시간은 어디에 속하는지 표기해 보자.

구분	1 ns	1 μs	1 ms	1 s	1 분	1 일	1 달	1 년	10^2 년	10^3 년	10^6 년	10^9 년
밤의 길이					∨							
빛의 1 m 이동 시간												
우주의 나이												
핼리 혜성 주기												
눈 깜박할 사이												
여름의 길이												
지구의 나이												
뉴턴 법칙이 나온 이후부터 지금까지 기간												

과학과 **생활**

원자 시계

원자 시계는 원자가 잘 흡수하는 특정 전자기파의 진동수를 읽어 시간을 측정한다. 대표적인 것이 세슘(Cs)이다. 현재 세계 표준에서 정의한 1초는 세슘 원자가 흡수하는 전자기파가 91억 9263만 1770번 진동할 때 걸리는 시간이다. 1953년에 자카리아스(Jerrold Zacharias)라는 과학자가 맨 처음 원자 시계를 만들었다. 원래 원자 시계는 지구 자전을 기준으로 하는 천체 시계의 오차를 보완하기 위해 만들어졌다. 그러나 최근 원자 시계는 첨단 정보 통신 기술의 기초가 되고 있다. 예를 들어, 텔레비전과 방송국의 시계가 일치되어야 한다. 서로 떨어져 있는 송신과 수신 측 사이에는 진동수뿐만 아니라 시간도 일치되어야 정보를 고속으로 전송할 수 있다. 즉, 텔레비전의 수신 전자기파의 진동수가 방송국의 송신 전자기파의 진동수와 공명이 일어날 때 텔레비전에서 그 방송을 수신할 수 있다. 이처럼 정확한 시각에 대한 정보는 유·무선 통신에서 더욱 많은 도움이 된다. 또 GPS를 통해 지상 물체의 위치를 밀리미터(mm) 단위까지 정확하게 파악하는 것도 원자 시계가 없으면 불가능하다.



표준과학연구원 세슘 원자 시계

2 공간의 측정과 표준



학습 목표

1. 물리학적인 공간의 개념을 이해한다.
2. 지표면상의 위치와 거리의 과학적 측정 방법을 이해한다.
3. 국제 길이 표준과 설정 역사를 안다.

누군가가 조난을 당해서 자신의 위치를 알리고 싶을 때나, 그들을 추적하여 위치를 확인하려 할 때 휴대 전화나 위치 추적 장치, GPS 등을 활용하는 경우가 많다.

이때 위치를 아는 데 필요한 정보는 어떠한 정보이며, 어떻게 그 정보를 알아내는지 그 원리를 알아보자.

1. 위치

위치를 알려면 얼마만큼의 정보가 필요할까?

교통수단을 이용하여 이동하는 경우 그 위치에 대한 정보의 수와 위치를 나타내기 위한 방법을 알아보자.

1차원 공간에서의 위치 정보

철로 위를 달리는 기차의 위치를 나타내는 정보는 하나로 충분하다. 예를 들어 그림 Ⅰ-6과 같이 서울역에서 부산을 향해 달리는 고속 열차는 '서울역에서 부산 방면으로 150 km 떨어진 곳'이라는 하나의 정보만 알면 그곳의 위치를 알 수 있다.

이처럼 선 위에서만 물체가 움직이는 공간을 1차원 공간이라고 한다.



그림 Ⅰ-6 1차원 운송 수단인 고속 열차

2차원 공간에서의 위치 정보

기차에 비해 그림 Ⅰ-7과 같이 2차원 면 위를 마음대로 옮겨 다닐 수 있는 자동차의 위치를 나타내려면 두 개의 정보가 필요하다.

물체가 면 위에만 존재하고, 그 안에서 움직일 때, 이 공간을 2차원 공간이라고 한다. 예를 들어 자동차가 '부산역에서 북쪽으로 120 km, 서쪽으로 30 km 떨어진 곳'에 있다고 하면 그곳의 그 위치를 알 수 있다.



그림 Ⅰ-7 2차원 운송 수단인 자동차



그림 Ⅰ-8 3차원 운송 수단인 비행기

3차원 공간에서의 위치 정보

그렇다면 2차원 면에 더해 위아래 운동도 가능한 비행기의 위치를 알려면 몇 개의 정보가 필요할까?

2차원 면보다 한 방향(차원)이 추가된 공간을 3차원 공간이라고 한다.

그림 Ⅰ-8과 같이 비행기는 3차원 공간에서 움직이므로 위치를 확인하기 위해 높이에 해당하는 정보가 더 필요하다. 공간에서 물체의 위치란 공간의 한 점을 나타내며, 차원의 수만큼의 정보가 필요하다. 즉 1차원의 교통수단인 기차는 1개의 정보로 위치를 나타낼 수 있고, 2차원 교통수단인 자동차는 2개의 정보로 위치를 나타내며, 3차원 교통수단인 비행기의 위치를 알려면 3개의 정보가 필요하다.

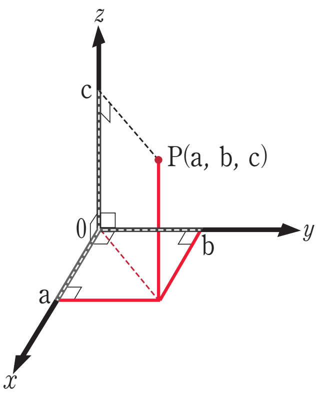


그림 Ⅰ-9 좌표계: P점은 각 축으로부터 각각 a, b, c만큼 떨어져 있다.

기준 좌표계

물체의 위치에 대한 정보를 나타내려면 그림 Ⅰ-9와 같이 3차원 공간을 구성하는 좌표계를 사용한다. 좌표계에서 각 차원에 해당하는 축을 설정하고 이 축들이 구성하는 좌표를 사용한다. 보통의 경우에는 각 축이 서로 직교하도록 설정한다. 임의로 기준을 정하고, 그 기준으로부터 각 축을 따라 얼마만큼 떨어져 있는지를 알면 위치에 대한 정보를 알 수 있다. 이 좌표계를 **기준 좌표계**라고 한다.

예를 들어 그림 Ⅰ-9와 같이 x, y, z축으로 이루어진 3차원 공간에서 어느 특정 위치의 정보는 그 위치에서 yz 평면까지의 수직 거리, xz 평면까지의 수직 거리, xy 평면까지의 수직 거리로 구성된다. 기준으로부터 각 축을 따라 얼마나 떨어져 있는지를 나타낼 때 보통 오른쪽, 위쪽, 앞쪽을 (+)로 표시하고 반대로 왼쪽, 아래쪽, 뒤쪽은 (−)로 표시한다.

여러 가지 단위

- 1 AU＝지구에서 태양까지의 거리＝1억5천만 km
- 1 광년＝빛이 1년 동안 이동한 거리
- 1 파섹＝3.26광년

물음 2. 그림 Ⅰ-9와 같은 좌표계를 이용하여 $x=2$, $y=3$, $z=-1$인 곳의 위치를 표시하라.

2. 거리

거리는 위치와 위치 사이의 간격을 말한다. 이를 **길이**라고도 한다. 단위로는 가장 많이 쓰이는 기본 단위인 미터(m)를 사용한다. 국제 표준 길이 1 m는 빛이 진공에서 $\frac{1}{299{,}792{,}458}$ 초 동안 진행한 경로의 길이이다. 이 기준은 1983년 제17차 국제도량형총회(CGPM)에서 결정되었다. 그 밖의 길이 단위로 m보다 작은 단위로는 cm, mm, μm, nm, pm, fm 등이 있으며, m보다 큰 단위로는 km, AU, 광년, 파섹 등이 있다.

거리 단위의 변환

미국이나 영국은 미터법을 쓰지 않고 다른 단위를 쓰고 있다.

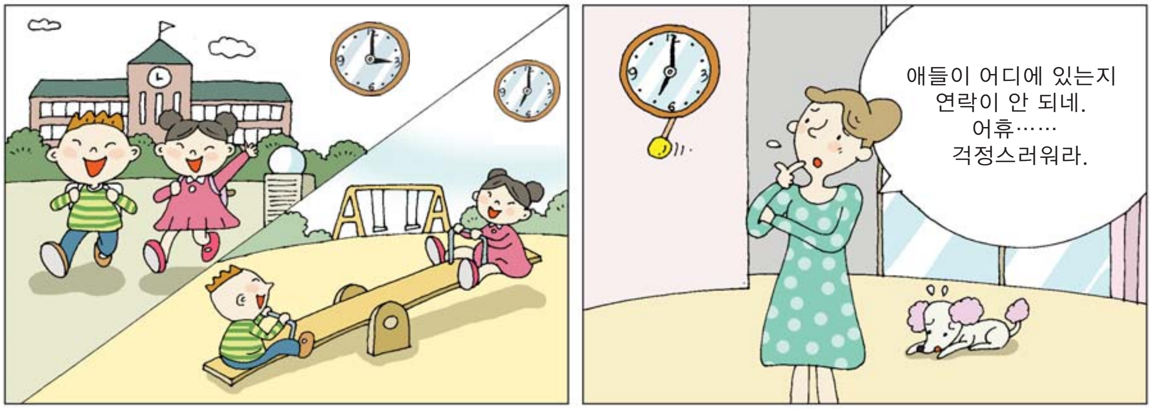
- 1 마일＝1.6093 km
- 1 야드＝0.9144 m
- 1 인치＝2.54 cm
- 1 피트＝0.3048 m

과학과 **생활**

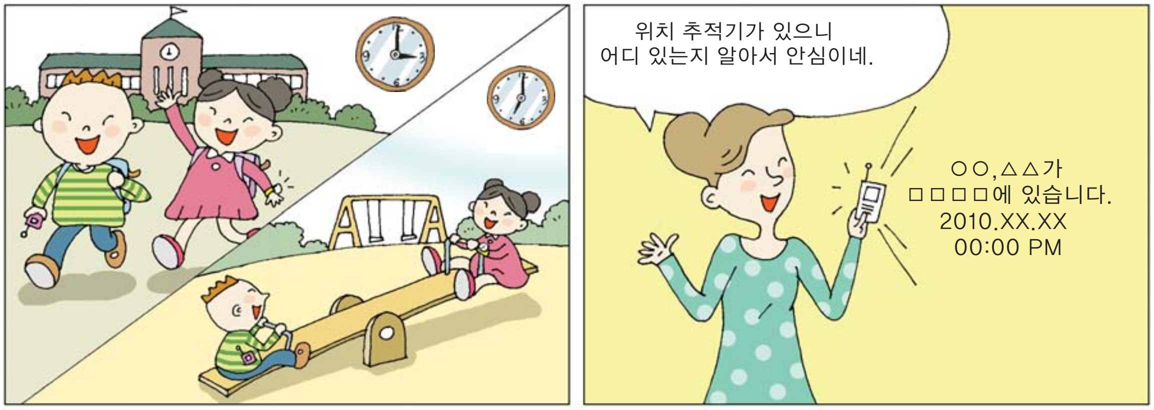
어린이 위치 추적기와 어린이 안전

어린이 위치 추적기의 기존 제품은 어린이 스스로 위치 추적기를 가방이나 주머니 안에 넣고 다니면서 부모에게 위치를 알려줘야 하지만, 최근에 개발된 위치 추적기는 아이들의 손목에 단단히 채워져 부모가 기능을 꺼 놓지 않는 한 항상 정확한 위치를 알려 준다. 부모들은 '안전 지역'이라는 기능을 통해 아이가 놀 수 있는 지역을 미리 설정해 놓을 수도 있다. 추적기의 작동이 강제적으로 꺼지게 되면 아이의 현재 위치를 구체적으로 알려 주는 경고 메시지가 부모의 휴대 전화와 컴퓨터로 전송되면서 잠재적인 위험에 대한 조기 경보가 발생한다.

• 어린이 위치 추적기가 없을 때



• 어린이 위치 추적기가 있을 때



물음 3. 앞에서 제시된 여러 길이 단위의 관계를 써넣어라.

(1) 1 nm = (   ) m = (   ) km

(2) 1 광년 = (   ) m = (   ) km

(3) 1 파섹 = (   ) m = (   ) km

과학사

길이 단위의 역사


m, mile, in, 척
아…… 너무 많다!
자 없이도 길이를 잴 수 있어.
옛날에는 신체를 이용해
길이를 쟀어.
아!
어떻게
잰다는 거야?
고대에는 이집트의
큐빗이라는 단위를 사용했었어.
큐빗(cubit)
이를 검은 화강암으로 만든
왕립 주 큐빗(royal master cubit)으로
표준화했지.
1왕립 주 큐빗 = 28디지트
1디지트 = 손가락 한 개 넓이
그리스나 로마에서도 신체가 기준인
'핑거(finger)'나 '피트(ft)'를 사용했지.
16핑거 = 30 cm
5피트 = 두 걸음 정도의 폭
1피트 = 12인치
이처럼 신체 부위를 이용한
길이 측정은 영국도 마찬가지였어.
손끝에서 코끝까지 = 1야드
그런데 신체를 이용한 것은
여러 가지 문제가 있었어.
이러한 문제를 해결하기 위하여 프랑스에서
미터(meter)라는 단위를 만들게 되었어.
현재 1미터는 '빛이 진공 중에서
2억 9979만 2458분의 1초 동안
진행한 거리'이다.
"meter"
이처럼 길이를 측정하는
다양한 방식들을 거쳐
지금의 미터나 센티미터 등의
단위가 나왔어.
그렇구나.
앞으로 나도 한번 내 배 둘레를
단위로 해서 길이를 측정해 볼까?
내 배 둘레가…… 00 cm이니까……
이 책상은……

3. 거리나 길이를 측정하는 방법

거리나 길이를 측정하는 방법에 대해 옛날부터 많이 연구가 되었다.

에라토스테네스는 지구의 둘레를 간접적으로 측정하였는데, 지금의 실측 거리와 상당히 가까운 값을 얻었을 정도로 정밀했다.

그는 그림 Ⅰ-10과 같이 약 5000스타디아(800 km) 떨어진 두 지점의 태양 고도 차이가 7.12° 정도 되는 것을 알고, 비례식을 이용하여 상당히 정확하게 지구의 둘레를 구하였다.

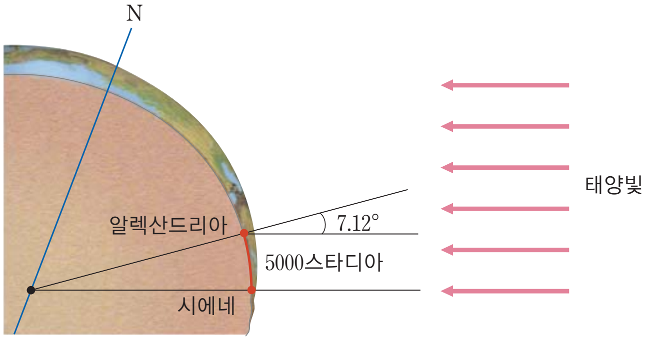
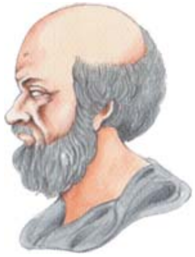


그림 Ⅰ-10 에라토스테네스의 지구 둘레 측정

물음 4. 태양의 고도 차이가 7.12°인 두 지점의 거리가 약 800 km 떨어져 있다면 지구의 둘레는 얼마 정도인지 비례식으로 구하라.

길이 측정은 그 규모에 따라 다양한 방법으로 이루어지고 있다. 가장 간단하게 측정하는 방법은 바로 자를 이용하여 실측하는 것이다. 멀리 떨어져 있거나 실측하기 어려운 지형에서는 삼각 측량법을 이용한다. 이는 기하학을 이용하여 닮은꼴 삼각형과 비례식을 이용하는 방법이다.



에라토스테네스(Eratosthenes, B.C. 275~B.C. 194)

고대 그리스의 수학자 · 천문학자 · 지리학자. 처음으로 지구 둘레의 길이를 추산하였다. 저서에 "지리학"이 있다.

한 걸음 **더**

삼각 측량법

삼각 측량법은 어떤 한 점의 좌표와 거리를 삼각형의 성질을 이용하여 알아내는 방법이다.

관측자 A가 관측자 B를 보는 선과 배 사이의 각도 α를 측정하고 관측자 B가 같은 식으로 각도 β를 구한다. A와 B의 좌표 및 두 위치 사이의 거리 l이 주어진다면, 사인 법칙 등을 이용하여 C에 있는 배의 좌표와 바닷가에서 배까지의 거리 d도 알아낼 수 있다.

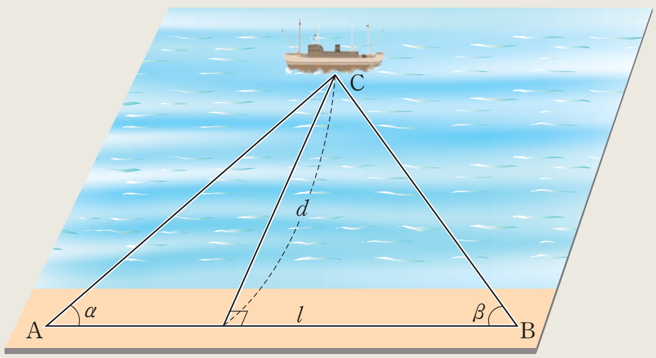




그림 Ⅰ-11 주기가 40일인 세페이드 변광성: 별이 너무 밝은 탓에 센서의 수용 한계를 넘어, 사진에 검은 줄이 생겨 있다.

거리가 먼 경우에는 레이저, 적외선, 마이크로파 등과 같은 전자기파를 이용하여 빛이 왕복하는 데 걸리는 시간으로 측정한다.

그런데 광년 등으로 표현하는 천문학적인 거리는 그 규모가 워낙 커서 빛의 왕복 시간이 너무 많이 걸리기 때문에 측정하는 데에는 한계가 있다. 이 경우에는 흔히 별의 겉보기 밝기와 실제 밝기의 차이를 비교하여 별에서 나온 빛이 지구까지 오는 동안 밝기가 얼마나 감소하였는지를 계산하여 거리를 파악한다. 이때 기준이 되는 별이 그림 Ⅰ-11과 같은 변광성인데, 밝기가 주기적으로 변하는 특징이 있다. 변광성 세페이드 주변에는 거대한 성운이 둘러싸고 있는데, 성운이 변광성의 빛을 반사하면서 40일의 주기마다 빛이 밝아지고 어두워지는 것을 그대로 나이테처럼 보여 주고 있다.

연구 5. 직선이 아닌 곡선 길이는 어떻게 측정할 수 있을지 생각해 보자.

4. 곡면 위의 위치

지금까지는 평면 위에 있는 위치를 확인하는 경우만 다루었다. 그러나 대부분의 물체는 지구와 같이 둥근 면 위에 존재하며, 위치에 대한 확인도 이렇게 굽은 면 위에서 이루어져야 한다.

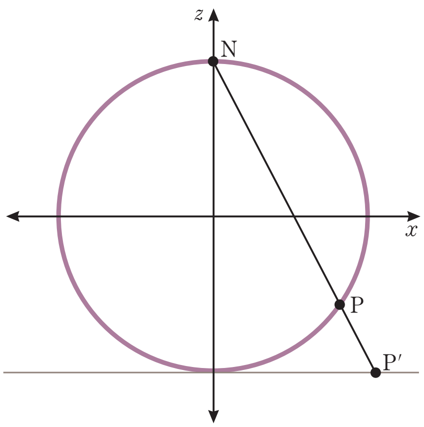


그림 Ⅰ-12 곡선 위의 위치와 이에 대응하는 직선 위의 위치

먼저 원 위의 점을 직선에 옮기는 과정에 대해서 알아보자.

그림 Ⅰ-12와 같이 원과 그 아래 수평선이 있다. 원의 꼭짓점 N에서 출발하여 원 상의 한 점 P를 이으면 수평선 상에 P′과 만난다. 이것은 원의 한 점 P를 수평선 상의 P′으로 옮긴 셈이다.

이와 같은 방법으로 꼭짓점 N을 제외한 원의 모든 점을 수평선에 옮길 수가 있다. 그러나 원의 한 점 N은 수평선에서 끝인 무한한 곳으로 옮길 수밖에 없다.

물음 5. 다음 물음에 답하시오.

(1) 직선 위의 점을 거꾸로 원 위로 옮기려면 어떻게 해야 하나?

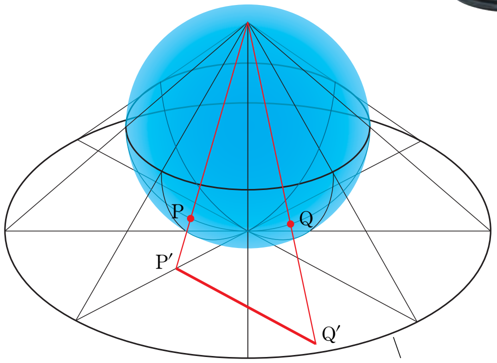
(2) 원 위의 두 점 사이의 길이와 이에 대응하는 직선 위의 두 점 사이의 길이 사이에는 어떤 관계가 있는가?

이제 곡면 위에 있는 점을 평면 위에 나타내려면 어떻게 해야 하는지 다음 탐구를 통해 알아보자.

탐구 2 해 보기 **지도 그리기**



- **준비물** 구, 도화지
- **과 정** 구 밑에 평평한 도화지를 놓고 도화지 바닥에 그려진 여러 도형이 구면 위에 어떻게 그려지는지 다음 순서대로 해보자.
  1. 바닥 평면에 먼저 직선을 그린다.
  2. 직선 위의 한 점과 구의 맨 위의 점을 이은 후에 그 선분이 구면과 만나는 위치를 구면 위에 점을 찍자. 직선 위의 다른 점도 같은 방법으로 구면 위에 있는 곳을 확인하자.
  3. 이번에는 바닥 평면에 원을 그린다. 이 원 위의 각 점을 같은 방법으로 구면 위의 어느 곳에 있게 되는지 확인한다.



구의 적도를 평면에 옮긴 것도 원을 이룬다.

- **정 리** 1. 평면 위의 직선은 구면 위에서는 어떤 도형을 그리게 되는가?
  2. 평면 위의 원은 구면 위에서는 어떤 도형으로 나타나겠는가?

탐구 2와는 거꾸로 구 위의 점을 평면에 대응시켜 투영시키는 방법을 **입체 화법**이라고 한다. 3차원 공간의 위치를 2차원의 면 위로 그리는 기법인데, 가장 간단한 방법이 구 위의 점을 구 바닥에 놓인 평면으로 직접 투영시키는 것이다. 이 방법은 지도를 작성하는 방법의 하나이다.

입체 화법(stereography)
여러 가지 입체 도형의 형상을 평면 위에 될 수 있는 한 정밀하게 나타내는 방법이다.

앞에서 원 위의 점을 모두 수평선 위에 투영시키는 것이 불가능한 것처럼 이 방법도 구 위의 모든 점을 평면에 투영시키는 것이 불가능하다. 탐구 2의 그림과 같이 구의 맨 위의 점에 가까울수록 평면에서는 아주 멀리 무한대로 투영된다. 따라서 구면 위의 점을 같은 방법으로 투영시킨다면 모든 점을 하나의 평면으로 옮기기 어렵고 두 개의 평면으로 투영시켜야 한다.

5. 지도

구면 위에 위치를 나타내는 방법은 여러 가지 있는데, 현재 위도와 경도로 표시하는 방법이 널리 쓰이고 있다. 그림 Ⅰ-13과 같이 구의 중심을 지나도록 잘랐을 때 단면의 경계를 이루는 선을 **대원**이라 하며, 이 대원의 일부 호의 길이는 구면 위에서 두 지점을 잇는 가장 가까운 거리가 된다.

그림 Ⅰ-14와 같이 지구의 북극에서 남극까지 이은 대원을 **경선** 또는 **자오선**이라 하며, 적도에 평행으로 이은 선을 **위선**이라고 한다. 경선은 모두 대원이지



그림 Ⅰ-13 구의 대원

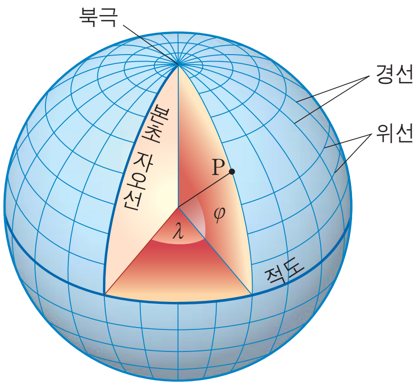


그림 Ⅰ-14 지구의 경선과 위선

그리스 문자 읽기

λ(lambda): 람다

φ(phi): 파이

만 위선의 경우는 적도를 제외하고는 대원이 아니다. 양극으로 갈수록 위선의 길이가 점점 더 짧아지며, 경도 사이의 거리는 더 가까워진다. 경선 중에서 영국의 그리니치 천문대를 지나는 경선을 **본초 자오선**이라 하며, 이곳으로부터 동쪽이나 서쪽으로 얼마나 떨어져 있는지 나타내는 위치를 **경도**라고 한다. 위선 중에서 북극과 남극에서 같은 거리만큼 떨어진 곳을 **적도**라 하며, 이곳으로부터 북쪽이나 남쪽으로 얼마나 떨어져 있는지 나타내는 위치를 **위도**라고 한다. 적도는 위선 중에서 제일 길이가 길다. 그림에서 P점의 위치는 각도 λ와 φ로 나타낼 수 있다. 이때 λ는 경도에 해당하며, φ는 위도에 해당한다. 이처럼 경도와 위도만 알면 지구 표면 위의 모든 점을 지정할 수 있고, 이 두 개의 정보가 위치를 지정하게 된다.

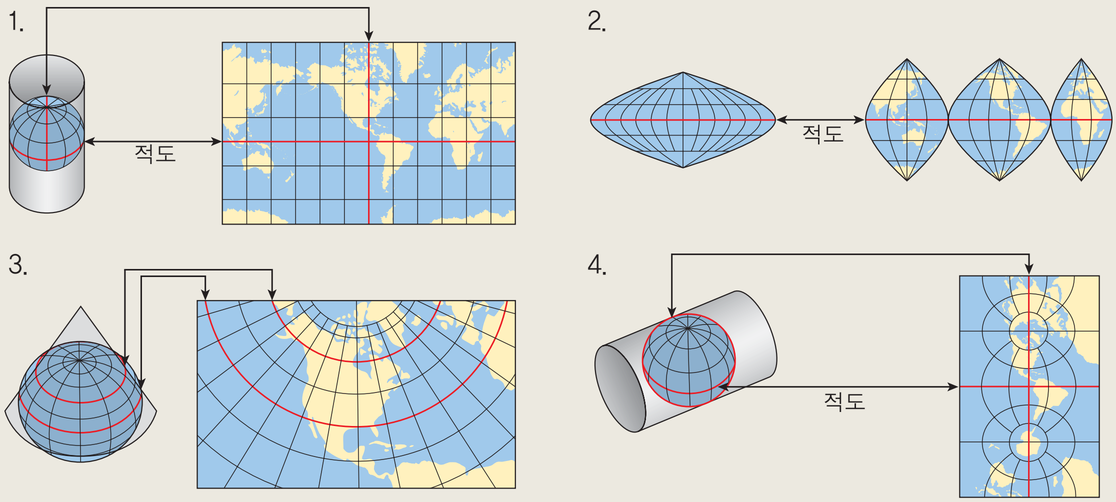
그런데 지도를 평면에 그리기 위해서는 지구 표면 위의 점들을 아무렇게나 평면 위로 옮기는 것이 아니라 일정한 규칙을 정하여 입체 화법을 쓰거나 조각으로 찢어서 펼치기도 한다. 또는 위도와 경도를 2차원 평면에 직선으로 그린 지도도 있다.

한 걸음 더

여러 가지 지도

다음은 여러 가지 방법으로 지구 표면의 점을 평면에 투영시켜 나타낸 것이다.

1. 지구 표면의 점들을 원기둥에 투영시켜, 위도와 경도를 수직 좌표계로 한 지도이다. 가장 많이 사용되는 방법으로, 이렇게 작성한 지도를 메르카토르 지도라고 한다.
2. 사인 함수 면 위로 투영시킨 것으로, 평면 위에 펼칠 때 극 부분은 분리된다.
3. 알베르스(Albers) 방법이라 하는데, 원뿔 위로 투영시킨 방법이다.
4. 지구 표면의 점을 원기둥으로 투영시킨 것이지만 메르카토르 방법과는 다르게 원기둥의 축과 지구의 자전축을 수직으로 하여 투영시킨 것이다.



6. 위치 측정 방법

GPS는 현재 운용되고 있는 범지구 위성 항법 시스템이다. 이는 미사일 유도, 항법, 측량, 지도 제작, 측지, 시각 동기화 등의 목적으로 사용되고 있다. 다음의 탐구를 통하여 GPS의 위치 측정 방법을 알아보자.

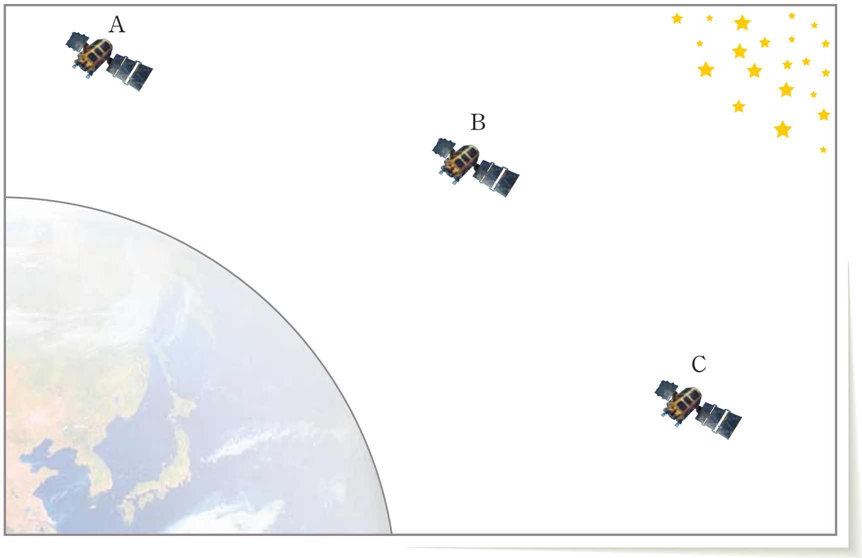
탐구 3 | 조사 **GPS 위성을 이용한 위치 측정법**

과 정

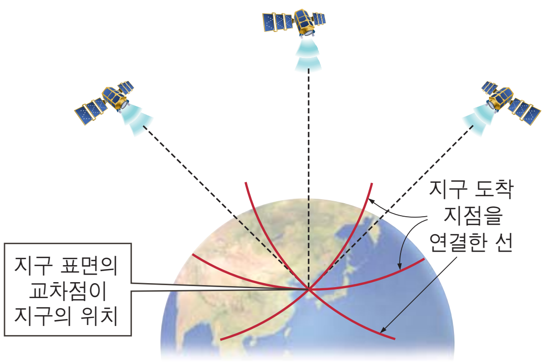
1. 차량용 GPS 수신기도 기본적으로는 삼각 측량을 이용하여 차량의 현재 위치를 알아낸다. GPS 수신기는 위성의 신호를 수신만 하고 송신은 하지 않는다.
2. 위성이 12시간의 주기를 가지고 지구를 돌고 있다. 각 위성의 배치가 다음 그림과 같을 때 차량용 GPS 수신기는 A 위성에서 보낸 신호를 2×10^{-9}초, B 위성에서 보낸 신호를 1.5×10^{-9}초, C 위성에서 보낸 신호를 2.5×10^{-9}초의 시간 차이를 두고 수신하였다. 차량의 위치를 표시해 보자.

정 리

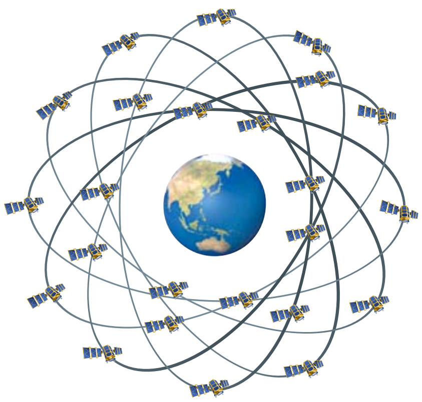
1. 정확한 위치 결정을 위하여 위성에서 어떤 정보를 보내 주어야 하는지 생각하여 보자.
2. 차량의 위치를 결정하기 위하여 필요한 위성의 개수는 몇 개인지 생각하여 보자.



GPS에서는 중궤도를 도는 24개(실제는 그 이상)의 인공위성에서 발신하는 마이크로파를 GPS 수신기에서 수신하여 수신기의 위치를 결정한다. 위성으로부터 송신된 신호를 이용하여 좌표를 계산하기 위해서는 정밀한 시계가 필요한데, GPS 위성에는 고정밀의 원자 시계가 탑재되어 있으며, GPS 수신기에는 필요한 정밀도에 따라서 원자 시계 또는 수정 시계 등이 내재되어 있다. 위성으로부터 수신한 항법 메시지를 통해 GPS 수신기의 시계와 GPS 위성의 시계를 비교한다.



(가) GPS 위치 측정의 원리



(나) 지구 주위의 GPS 위성의 구성도



(다) GPS를 이용한 기기

그림 Ⅰ-15 GPS의 원리와 GPS 수신기

그림 Ⅰ-15의 (가)와 같이 한 번 측정을 위해서는 3개의 위성으로 충분하지만 그 값의 정확도를 높이는 보정을 위해 4개의 위성이 한 조를 이룬다. 지구 전체를 다루기 위하여 그림 (나)와 같이 24개 위성이 4개씩 6개의 궤도를 구성하고 지구 주위를 12시간 주기로 공전하고 있다. 실제로 활동하고 있는 위성은 이 중에서 모두 21개이며, 3개는 만약의 경우를 대비하여 예비로 대기하고 있다. 그림 (다)는 GPS 수신기의 예를 나타낸 것이다.

물음 6. 다음 길이는 어디에 속하는지 표기하여 보자.

구분	1 nm	1 μm	1 mm	1 m	1 km	10^3 km	10^6 km	10^9 km	10^{12} km
서울에서 부산까지									
원자의 지름									
지구에서 태양까지									
백화점 높이									
안드로메다 은하까지									
개미의 크기									
학교에서 집까지									
사람의 키									

3 속도와 가속도

학습 목표

1. 속도의 개념을 이해한다.
2. 가속도의 개념을 이해한다.
3. 등가속도 직선 운동을 이해한다.



100 m 달리기 경기에서는 동시에 출발하여 누가 더 빨리 결승점까지 도착하는지로 순위를 결정한다.

그러면 야구 경기에서 투수가 던진 공의 빠르기와 육상이나 스피드 스케이팅 선수의 빠르기처럼 다른 상황에서 빠르기를 서로 비교하려면 어떻게 해야 할까?

어느 야구 선수가 던진 공의 빠르기가 시속 140 km라고 하자. 그리고 어느 육상 선수가 100 m를 달리는 데 10초가 걸린다고 하자.

이 둘의 빠르기를 비교하기 위해 앞에서 배운 시간과 공간의 개념을 이용하여 이러한 문제를 해결해 보자.

1. 속도

평균 속도

시간은 두 시각의 사이, 거리는 두 위치의 사이에 해당한다. 일반적으로 어느 물체가 일정한 시간 동안에 움직인 거리의 비율을 빠르기라고 한다. 즉 물체의 운동을 비교할 때 같은 시간 동안에 더 멀리 이동한 물체가 더 빠르다고 한다. 물체가 움직이면 시각에 따라 위치가 변하므로, 움직이는 물체의 위치를 시각의 함수로 나타낼 수 있다. 즉 위치 s를 $s(t)$로 나타낼 수 있다.

이때 위치의 변화를 **변위**라고 한다. 예를 들어 어떤 물체가 시각이 t_1일 때 $s_1=s(t_1)$이라는 곳에 있다가 시각이 t_2일 때 $s_2=s(t_2)$라는 곳으로 이동하였다고 하자. 두 지점 사이의 변위는

$$\Delta s=s_2-s_1=s(t_2)-s(t_1)$$

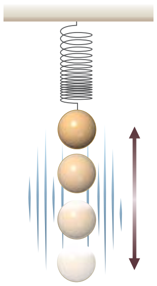
이다. 두 지점을 이동하는 데 걸린 시간은 $\Delta t=t_2-t_1$이다. 이때 걸린 시간에 대한 변위의 비율 값을 **평균 속도**라고 한다.

$$v_{평균}=\frac{\Delta s}{\Delta t}=\frac{s(t_2)-s(t_1)}{t_2-t_1}=\frac{s_2-s_1}{t_2-t_1}$$

시간에 대한 위치를 그래프로 나타냈을 때 두 지점 사이의 기울기가 평균 속도에 해당한다. 평균 속도는 $\frac{길이}{시간}$이므로 단위로는 m/s, km/h 등으로 나타낸다.

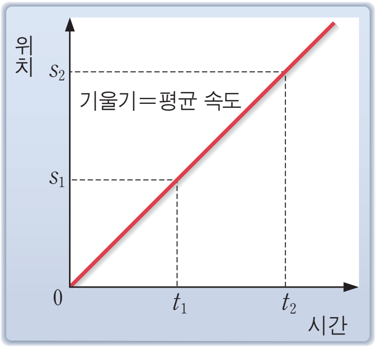
이동 거리와 변위의 차이점

만일 용수철에 매달린 물체가 한 번 왕복하는 운동을 하여 제자리에 오는 경우에는 변위가 0이지만 이동 거리는 최고점과 최저점 높이 차이의 두 배이다.

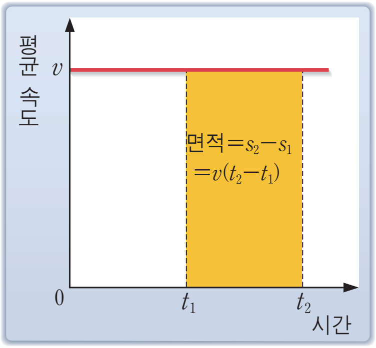


그리스 문자 읽기

Δ(delta): 델타. 보통 변화를 나타낼 때 사용한다. 예를 들어 Δt는 t_2-t_1로 두 시각 사이의 시간 차이를 나타낸다.



(가) 위치 – 시간 그래프



(나) 속도 – 시간 그래프

그림 Ⅰ-16 등속 직선 운동의 그래프

등속도 운동

물체가 운동하는 동안 속도가 변하지 않는 운동으로 그 속도는 평균 속도와 같다.

그림 Ⅰ-16의 (가)는 위치-시간 그래프를 나타낸 것이다. 이때 기울기가 시간에 따라 일정하므로 **등속도 운동**한다는 것을 알 수 있다. 따라서 속도-시간 그래프를 그려 보면 그림 (나)와 같이 수평으로 나타난다.

물체가 시각 t_1에서 시각 t_2까지 등속 운동을 할 때, 이 시간 동안에 움직인 거리는

$$s_2-s_1=v(t_2-t_1)$$

이다. 따라서 s_2-s_1은 시간-속도 그래프에서 시각 t_1에서 t_2 사이의 그래프 아래의 면적에 해당한다.

이제 평균 속도에 대한 정의를 이용하여 야구 선수가 던진 공과 육상 선수의 빠르기를 비교해 보자. 이들의 평균 속도를 각각 구하면 다음과 같다. 먼저 야구 선수가 던진 공의 평균 속도는

$$\frac{140\ \text{km}}{1\ \text{h}}=\frac{140\times1000\ \text{m}}{1\times3600\ \text{s}}=38.9\ \text{m/s}$$

이고, 육상 선수의 평균 속도는

$$\frac{100\ \text{m}}{10\ \text{s}}=10\ \text{m/s}$$

이므로 야구 선수가 던진 공이 육상 선수 속도에 비해 네 배 정도 빠른 것을 알 수 있다. 이들이 같은 시각인 t_1에 같은 위치인 s_1과 s_1'에서 출발하여 일정하게 움직였다고 할 때 그래프를 그리면 그림 Ⅰ-17과 같다.

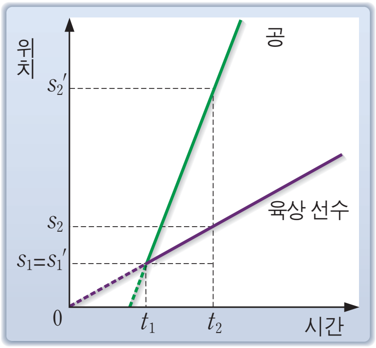


그림 Ⅰ-17 위치 – 시간 그래프

시간 t_2-t_1 동안 육상 선수가 달린 거리, 즉 변위는 s_2-s_1이고, 공의 변위는 $s_2'-s_1'$이다. 여기에서 둘의 이동 거리를 비교하면 공의 이동 거리가 육상 선수보다 거의 네 배이다.

이는 위치-시간 그래프에서 공의 기울기가 대략 육상 선수의 기울기의 네 배가 된다는 의미이다. 이처럼 위치-시간 그래프에서 물체의 기울기를 비교하여 물체의 속도를 비교할 수 있다. 그리고 기울기가 반대로 기울어져 음(−)의 값으로 나타나는 경우는 속도가 음임을 나타내며, 이는 반대 방향으로 움직이는 것을 의미한다.

탐구 4 MBL 등속 운동 체험하기

- **준비물** 우유 팩 또는 종이 상자, 1 m 자, 컴퓨터 기반 과학 실험(MBL) 접속 장치, 운동 감지기
- **과 정**
  1. 운동 감지기를 MBL 접속 장치에 연결한다.
  2. 1 m 자를 놓고 한쪽 끝에 운동 감지기를 놓는다.
  3. 종이 상자를 운동 감지기 앞에서 출발하여 1 m 자의 끝까지 일정한 속도로 움직여 본다.
  4. 속도가 10 cm/s, 20 cm/s가 되도록 여러 번 반복한다.



순간 속도

두 물체의 움직이는 빠르기가 일정하지 않을 때에는 평균 속도로 비교하기가 쉽지 않다. 어느 시점에서 비교하느냐에 따라 얼마든지 결과가 달라질 수가 있다. 이럴 때에는 어느 특정 시각의 순간적인 값으로 비교할 수 있다. 따라서 속도를 순간적인 값으로 계산할 필요가 있을 때 걸린 시간을 최소화시킨 시간 동안의 물체의 변위 비율을 구하게 된다. 이 값을 순간 속도라고 한다. 순간 속도를 구하려면 이동 시간을 최소로 줄여 어느 순간의 값을 구해야 한다.

순간 속도

특정 시간 t_1에서의 순간 속도는 수학적으로 함수의 극한을 사용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$v_{순간}(t_1)=\lim_{t_2\to t_1}\frac{s(t_2)-s(t_1)}{t_2-t_1}$$
$$=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta s}{\Delta t}$$

앞에서 구한 평균 속도처럼 순간 속도도 그림 Ⅰ-18의 위치-시간 그래프에서 특정 시각의 접선의 기울기에 해당한다. 따라서 두 물체가 운동할 때 순간 속도를 비교하려면 위치-시간 그래프에서 같은 시각일 때 접선의 기울기를 비교하면 된다. 앞으로 특별한 설명이 없는 한 속도라 하면 순간 속도를 의미하는 것으로 한다.

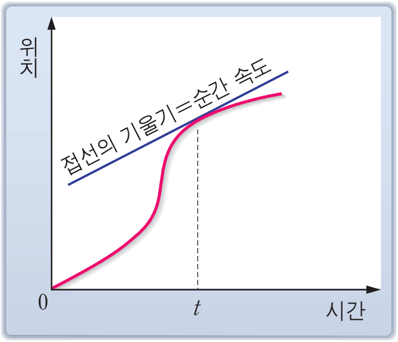


그림 Ⅰ-18 순간 속도

속력

만일 어떤 물체가 이 시간 동안에 앞으로 움직이다가 방향을 바꾸어 다시 뒤로 움직였다고 하자. 이때 변위는

$$\Delta s=s_2-s_1=s(t_2)-s(t_1)$$

이므로 물체가 실제로 움직인 거리와 다를 수 있다.

변위 대신 물체가 실제로 움직인 거리를 대입하여 빠르기를 계산한 것을 **속력**이라 하며, 단위는 속도와 같다. 물론 물체의 운동 과정에서 방향이 바뀌지 않는다면 속력의 크기와 속도의 크기는 같다.

예제 1

다음 두 물체 A, B의 평균 속도와 평균 속력을 각각 구하라.

(1) 물체 A는 북쪽으로 10초 동안 10 m를 이동하다가 다음 10초 동안에는 같은 방향으로 5.0 m를 이동하였다.

(2) 물체 B는 북쪽으로 10초 동안 10 m를 이동하다가 다음 10초 동안에는 남쪽으로 5.0 m를 이동하였다.

해설 | (1) A는 방향이 변하지 않았으므로 평균 속도와 평균 속력 모두 같다.

$$\frac{10\ \text{m}+5.0\ \text{m}}{10\ \text{s}+10\ \text{s}}=0.75(\text{m/s})$$

(2) B는 방향이 변하였으므로 실제로 움직인 거리는 $10+5.0=15$(m)이지만, 변위는 출발점으로부터 북쪽에 $10-5=5$(m)이다. 따라서 평균 속도는 $\frac{10\ \text{m}+5.0\ \text{m}}{10\ \text{s}+10\ \text{s}}=\frac{5}{20}=0.25(\text{m/s})$이고, 평균 속력은 $\frac{10\ \text{m}+5.0\ \text{m}}{10\ \text{s}+10\ \text{s}}$ $=0.75(\text{m/s})$이므로 B의 평균 속력은 A와 같으나 B의 평균 속도는 A와 다르다.

답 (1) 0.75 m/s, 0.75 m/s (2) 0.25 m/s, 0.75 m/s

연구 6. 다음 물음에 대해 생각하여 보자.

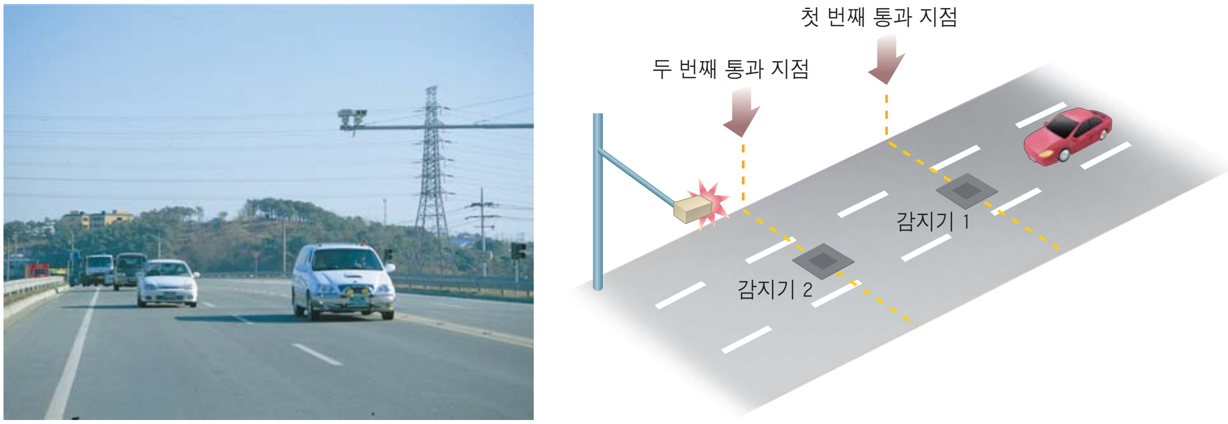
(1) 속도가 0의 값을 가지는 경우는 무엇을 말하는가?

(2) 속도가 음(−)의 값을 가지는 것은 무슨 의미인가?

속도의 측정

물체의 속도는 이동 시간과 이동 거리를 측정하여 구한다. 흔히 우리 주위에서 볼 수 있는 것으로는 야구 경기에서 공의 속도를 측정하는 스피드 건이나, 그림 Ⅰ-19의 (가)와 같이 도로에서 자동차의 속도를 측정하는 카메라이다. 이러한 속도 측정 장치의 원리를 알아보자.

그림 Ⅰ-19의 (나)와 같이 카메라에서 속도를 측정하는 원리는 도로에 두 개의 감지기를 몇 미터 정도 떨어지게 설치한다. 자동차가 그 사이를 지나는 시간을 측정하면 자동차의 속도를 알 수 있는데, 자동차의 속도는 두 감지기 사이의 거리를 자동차가 통과한 시간으로 나누어 구하게 된다.



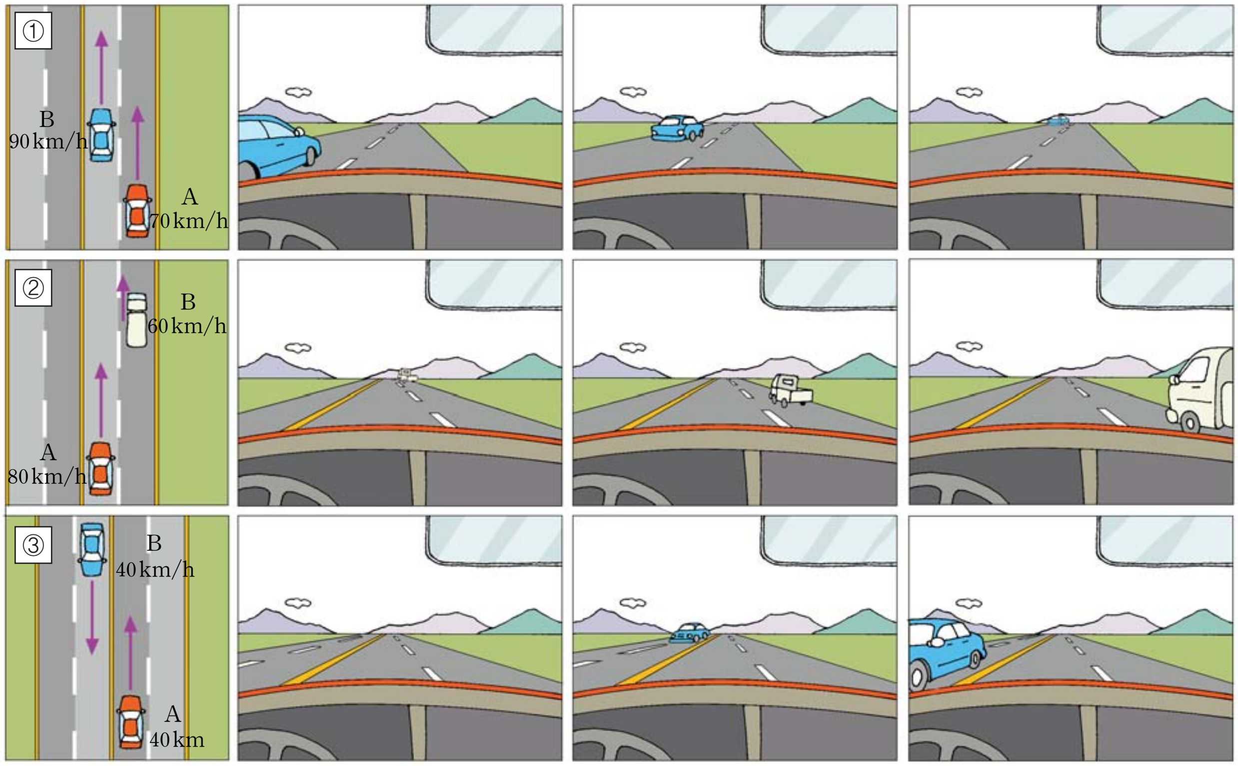
(가) 자동차 속도 측정 카메라　　　　(나) 자동차 속도 측정 원리

그림 Ⅰ-19 자동차 속도 측정 카메라와 측정 원리

상대 속도

만일 A, B 두 물체가 그림 Ⅰ-20과 같이 움직이고 있을 때 A가 본 B의 속도는 얼마로 측정될까?

이 경우에는 같은 시간 동안 관측자도 움직이므로 이동한 거리가 달라진다. 이를 다음의 세 가지의 경우로 생각할 수 있다. 이때 A는 관측자가 되어 B의 속도를 측정한다고 하자.



(가) $t=0$초　　(나) $t=5$초　　(다) $t=10$초

그림 Ⅰ-20 A가 본 B의 상대 속도

① 같은 방향으로 움직이는데 B가 더 빠른 경우
② 같은 방향으로 움직이는데 B가 더 느린 경우
③ 반대 방향으로 움직이는 경우

①과 ②의 경우에는 같은 방향으로 움직이는데 A에 대해 B가 같은 시간 동안 이동한 거리는 두 물체의 변위의 차이에 해당한다. 즉, A와 B가 시각이 0일 때 같은 곳에 있다가 특정 시각 t에 위치가 각각 s_A, s_B에 있을 때 두 물체의 변위 차이는 s_B-s_A이다. 따라서 A가 본 B의 속도 v_{AB}는 다음과 같이 생각할 수 있다.

$$v_{AB}=\frac{s_B-s_A}{t}=\frac{(s_B-s_0)-(s_A-s_0)}{t-0}=\frac{\Delta s_B-\Delta s_A}{\Delta t}$$
$$=\frac{\Delta s_B}{\Delta t}-\frac{\Delta s_A}{\Delta t}=v_B-v_A$$

A가 본 B의 속도는 B의 속도에서 A의 속도를 뺀 값인데, 이를 상대 속도라고 한다. ②의 경우에는 A에 비해 B의 속도가 작으므로 거리는 점점 가까워진다. 물론 B가 A를 본 속도 v_{AB}는 반대로 A의 속도에서 B의 속도를 뺀 값이다. 따라서

$$v_{BA}=v_A-v_B=-v_{AB}$$

으로 A가 B를 본 상대 속도의 반대 방향이다.

③은 서로 마주 보고 반대로 움직이는 경우이므로 변위도 서로 반대 방향이다. 실제로 A가 보는 B의 이동 거리는 두 물체의 이동 거리를 더한 것과 같다. 그 까닭은 B의 변위가 A의 방향에 대해 음의 값을 갖기 때문이다.

예제 2

어떤 트럭이 내가 몰고 있는 자동차의 앞에서 나와 같은 방향으로 달리고 있다. 내 자동차의 속도계는 80 km/h를 가리키고 있다. 내가 트럭의 속력을 측정하였더니 20 km/h이며, 점점 가까워졌다. 트럭의 속도계는 얼마를 가리키는가?

해설 | 트럭의 속도를 v라 하면 내가 본 트럭의 상대 속도는 가까워지므로 -20 km/h이다. 따라서 $-20\text{ km/h}=v-80\text{ km/h}$에서 $v=60$ km/h으로 트럭의 속도는 60 km/h이다.

답 60 km/h

물음 7. 경부선 고속 열차 두 대가 천안 부근에서 서로 마주 보며 엇갈려 달리고 있다. 서울행은 속력은 295 km/h이고, 부산행은 속력은 280 km/h이다. 서울행 열차가 본 부산행 열차의 상대 속도는 얼마인가?

2. 가속도

공이나 운동 선수가 점점 더 빨라지는 운동을 한다고 하자. 이러한 경우에는 속도가 일정하지 않고 시각에 따라 변하므로 속도를 시각의 함수 $v(t)$로 나타낼 수 있다. 이때 속도가 변화하는 비율을 **가속도**라고 한다. 예를 들어 어떤 시각 t_1에서 물체의 속도가 $v_1=v(t_1)$이었는데, 시각이 t_2일 때 속도가 $v_2=v(t_2)$로 변하였다. 이 시간 $\Delta t=t_2-t_1$ 동안 속도가 변한 양은 $\Delta v=v_2-v_1=v(t_2)-v(t_1)$이므로 가속도는

$$a=\frac{v_2-v_1}{t_2-t_1}=\frac{v(t_2)-v(t_1)}{t_2-t_1}=\frac{\Delta v}{\Delta t}$$

으로 나타낼 수 있다. 가속도의 단위는 속도를 시간으로 나눈 것과 같기 때문에 m/s^2, 또는 cm/s^2 등으로 나타낸다.

특별히 물체의 가속도가 일정한 운동을 **등가속도 운동**이라 하는데, 이것은 속도가 일정하게 변하는 운동이다. 그 예로는 **자유 낙하 운동**이 있다. 자유 낙하 운동은 지표면 근처에서 중력에 의해 물체의 가속도의 크기가 약 $10\ m/s^2$로 일정하고 방향이 아래 방향인 운동을 의미한다. 위치나 높이에 따라 중력이 조금씩 다르지만 그 차이가 워낙 작아 근사적으로 거의 같다고 가정하고 등가속도 운동으로 다룬다.

그림 Ⅰ-21의 (가)와 같이 등가속도 운동을 가속도-시간 그래프와 속도-시간 그래프로 나타낼 수 있다. 이들 사이의 관계는 다음과 같다.

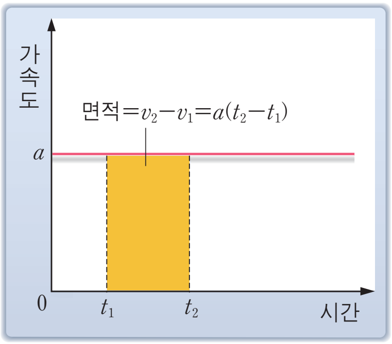
$$v_2-v_1=a(t_2-t_1)$$

속도 변화는 가속도-시간 그래프의 아래 면적에 해당한다. 특별히 처음 시각 t_1을 0, 나중 시각 t_2를 t, 처음 속도 v_1을 v_0, 나중 속도 v_2를 v라 하면 이 식은 다음과 같다.

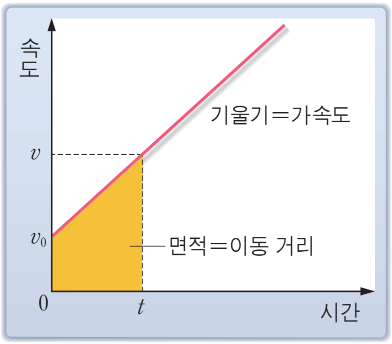
$$v=v_0+at$$

그러면 변위, 즉 그 시간 동안에 움직인 이동 거리는 어떻게 알 수 있을까?

앞에서 계산한 것처럼 속도-시간 그래프에서 아래 면적을 계산하면 되는데, 이는 그림 (나)의 사다리꼴 면적에 해당한다.



(가) 가속도-시간 그래프



(나) 속도-시간 그래프

그림 Ⅰ-21 등가속도 운동 그래프

$$\text{사다리꼴 면적}=\frac{1}{2}(v_2+v_1)(t_2-t_1)=\frac{1}{2}\left\{2v_1+a(t_2-t_1)\right\}(t_2-t_1)$$

$$=\frac{1}{2}a(t_2-t_1)^2+v_1(t_2-t_1)$$

특별히 처음 시각 t_1을 0, 나중 시각 t_2를 t, 처음 속도 v_1을 v_0하고, 처음 위치 s_1을 0, 나중 위치를 s_2라고 하면 이 식은 단순하게 다음과 같다.

$$s=\frac{1}{2}at^2+v_0t$$

이 식을 보면 등가속 운동의 경우 움직인 거리를 그래프로 그리면 그림 Ⅰ-22와 같이 시간에 따라 이차 함수인 포물선이 된다.

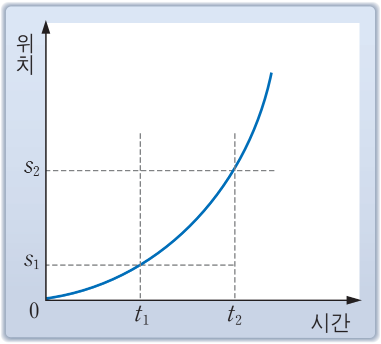


그림 Ⅰ-22 위치-시간 그래프

이제 물체의 운동을 직접 촬영하여 분석해 보자.

탐구 5에서는 동영상 자료로부터 얻은 속도-시간 그래프나 위치-시간 그래프를 통하여 등속 운동이나 등가속 운동을 확인할 수 있다.

물음 8. 자동차 경주자가 순간적으로 급가속하기 위해서 가속 페달을 밟아 10 m/s이었던 자동차의 속도를 5초 사이에 50 m/s로 올렸다. 이 시간 동안의 평균 가속도는 얼마인가?

물음 9. 처음에 속도 v_0인 상태에서 a의 가속도로 거리 s만큼 이동한 물체의 속도 v가 다음 관계식을 만족하는지 증명하라.

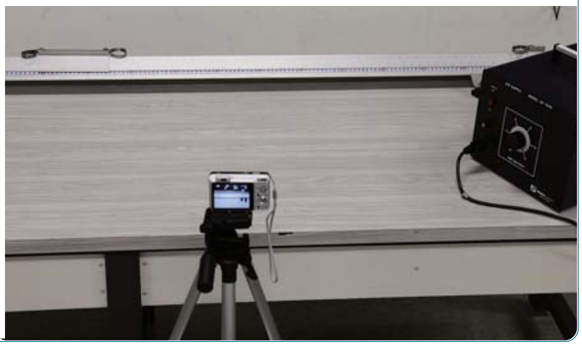
$$v^2-v_0^2=2as$$

탐구 5 실험 디지털 카메라로 운동 동영상 분석하기

준비물 1차원 공기 부상 궤도, 카트, 줄자 또는 막대 자(눈금을 복사하여 붙여도 상관없음), 동영상 촬영 가능한 디지털 카메라, 카메라 삼각대

과 정
1. 카트가 움직이는 길에 눈금 있는 자를 놓거나 눈금을 만들어 붙인다.
2. 카메라가 움직이지 않도록 고정한다.
3. 카트가 공기 부상 궤도에서 등속 운동을 하도록 하여, 그 운동을 촬영한다.
4. 카트가 일정한 가속도 운동을 하기 위하여 공기 부상 궤도의 한쪽을 기울여 비탈을 만들어 그 운동을 촬영한다.

정 리
1. 운동을 기록한 파일을 동영상 재생 프로그램에서 분석한다. 이때 시각에 따른 물체의 위치를 그래프로 그려 보자.
2. 정리 1에서 구한 그래프에서 시간-속도 그래프를 그려 보자.



한 걸음 더

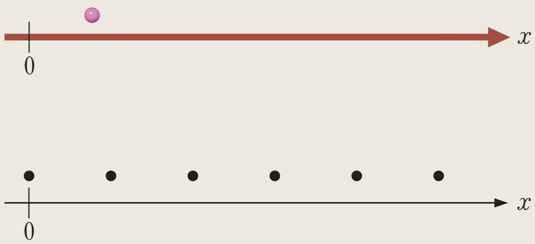
물체의 운동을 쉽게 이해하기

물체의 운동을 다음과 같이 다루면 쉽게 이해할 수 있다. 물체를 점으로 표시하고 일정 시간 간격마다 물체의 위치를 기준 좌표축과 함께 점으로 찍는 것인데, 다중 섬광 장치로 사진을 찍어 나타낸 것이나 시간 기록계로 운동을 기록한 것처럼 점을 표시하는 것이다. 좌표축의 원점은 아무 곳으로 정하여도 관계없다.

예를 들어 다음 그림과 같이 운동장에 놓여 있는 공을 생각하자. 이것은 움직이지 않으므로 한 점으로만 표시하면 된다. 만일 스케이트보드를 타고 도로 위를 일정하게 움직이고 있는 사람은 일정한 간격을 두고 찍은 점과 같다.

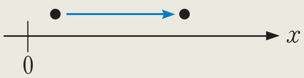


(가) 물체가 운동할 때 시간이 흘러간 후의 모습

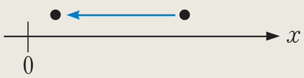


(나) 운동 상태를 점으로 찍은 것

위치뿐만 아니라 물체의 빠르기도 표시할 수 있다. 각 위치를 나타내는 점에 화살표를 그려 그 길이로 속도의 크기를 나타낸다. 즉 길이가 길면 속도가 큼을 의미한다. 그리고 그림와 같이 화살표의 방향은 물체의 운동 방향을 나타낸다.

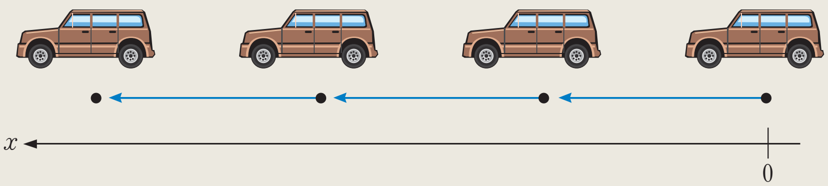


(다) 운동 방향이 오른쪽, 즉 양의 방향이면 속도도 양의 값이다.



(라) 운동 방향이 왼쪽, 즉 음의 방향이면 속도는 음의 값이다.

예를 들면 그림 (마)와 같이 어떤 자동차가 일정한 속도로 왼쪽으로 움직이고 있다. 그림에서 점 사이의 거리는 같고, 화살표의 길이도 모두 같으므로 물체는 일정한 속도로 움직이고 있음을 의미한다.



(마) 등속 운동하는 물체의 운동

가속하는 경우도 같은 방법으로 표현한다. 오른쪽으로 운동할 때, 오른쪽 방향으로 가속하면 화살표가 점차 길어지게 표현하고 왼쪽 방향으로 가속하면 화살표는 점점 짧아지게 표현한다.



4 뉴턴 운동 법칙

학습 목표

1. 뉴턴 운동 법칙을 이해하고 적용할 수 있다.
2. 충격량과 운동량 변화의 관계를 이해하고 적용할 수 있다.
3. 질량과 무게의 개념에 대한 차이를 안다.

물체가 움직이는 것은 물체에 작용하는 힘과 관련이 깊다. 테니스 선수가 라켓을 휘둘러서 공을 때려 그물 위로 넘겨 보낸다든가 축구 경기에서 공격수가 몰고 가는 공을 수비수가 멈추게 한다든가 할 때 모두 공에 힘을 작용하여 물체의 운동을 변화시킨다. 물체에 힘을 주었을 때 힘과 물체의 운동 사이에는 어떤 관계가 있는지 알아보자.



뉴턴 (Newton, I.; 1642~1727)

영국의 과학자. 물체의 운동 법칙과 만유인력 법칙을 확립하였다. 과학 연구로 반사 망원경을 만들고, 뉴턴 원 무늬를 발견하였으며, 빛의 입자설을 주장하였다. 저서에 "자연 철학의 수학적 원리"가 있다.

1. 여러 가지 힘

힘은 물체의 모양을 변화시키거나, 정지한 물체를 움직이게 하거나, 움직이는 물체를 멈추게 하고, 움직이는 물체의 방향이나 빠르기를 변화시키는 물리량을 뜻한다. 힘은 크게 물체끼리 접촉하여 작용하는 힘과 물체끼리 접촉하지 않고 작용하는 힘, 두 가지로 나눌 수 있다. 힘의 단위는 **뉴턴(N)**을 사용하며, 이것은 힘에 대한 현대적 개념을 먼저 정의한 영국의 과학자 뉴턴의 이름을 따라 붙인 것이다.

한편, 우리 주위에는 아주 다양한 힘이 있지만 모두 같은 방법으로 다루게 된다. 물리학에서 다루는 모든 힘은 힘이 작용하는 원리에 따라 네 가지로 분류한다. 대개 학교에서는 중력과 전자기력만 다루는데, 이 두 가지 외에 핵력에 해당하는 강력과 약력 두 가지가 더 있다. 여기에서는 우리 주위에서 많이 경험하는 여러 가지 힘의 예를 소개하겠다.

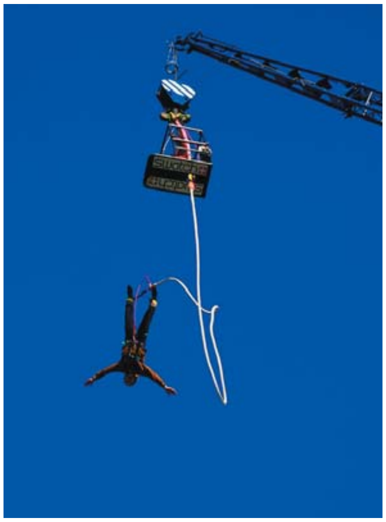


그림 Ⅰ-23 중력이 작용하는 물체 운동의 예(번지 점프)

중력

질량을 가진 두 물체 사이에 작용하는 인력이다. 공중으로 공을 던질 때 공과 지구 사이에 서로 끄는 힘인 중력이 작용하나 지구에 비해 공의 질량이 아주 작아 공만 끌려온다.

지구와 달, 지구와 태양 사이에도 중력이 작용한다. 자세한 내용은 다음 단원에서 다룬다.

전기력과 자기력

정지한 전하 사이에 작용하는 힘이 전기력(쿨롱 힘)이고, 자석 사이나 전류 사이에 작용하는 힘이 자기력이다. 이 두 힘이 한꺼번에 작용하면 **전자기력**이라고 한다.

저항력

물체가 유체 속에서 움직일 때 그 물체는 그 매질을 움직여야 하고, 그 매질은 다시 물체에 힘을 가하게 된다. 이렇게 유체가 물체의 운동을 방해하는 역할을 하는 힘이다. 예를 들어 낙하산이 천천히 내려오는 것은 공기의 저항력 때문이다.

장력과 표면 장력

물체에 연결된 줄을 팽팽하게 잡아당기면 줄은 물체에서 멀어지려는 방향으로 줄을 따라 물체를 잡아당긴다. 이때 줄이 팽팽히 당겨진 긴장 상태에 있기 때문에 이러한 힘을 **장력**이라고 한다. 줄에 걸린 장력은 물체에 작용하는 힘의 크기와 같다.

표면 장력은 액체의 표면이 스스로 수축하여 되도록 작은 면적을 취하려는 힘이며, 분자 사이에 작용하는 힘에 따라 분자가 서로 접촉하여 응축하려고 하며, 이 결과 표면적이 작은 원 모양이 되려고 한다. 물방울이나 비눗방울이 둥글게 되는 것도 이 원리에 따른 것이다.



그림 Ⅰ-24 저항력의 예(낙하산)



그림 Ⅰ-25 표면 장력의 예(이슬)

부력과 양력

물체가 유체 속에서 있을 때 위로 뜨게 하는 힘이 있는데, 이를 **부력**이라고 한다. 배가 뜨는 것이 그 예이다. 물체가 유체 속에서 움직일 때 물체의 윗면과 아랫면을 지나는 유체의 속력에 따라 압력의 차이가 발생하여 물체가 뜨는 데, 이를 **양력**이라고 한다. 비행기가 뜨는 것이 그 예이다.

수직 항력

어떤 물체가 접촉하는 표면에 수직으로 작용하는 힘을 말하며, 접촉면이 그 면에 수직인 방향으로 물체를 밀어내는 힘이다. 예를 들어 평평한 탁자 위에 있는 물체의 경우, 수직 항력은 중력과 크기가 같고 방향이 반대인 힘에 해당한다. 따라서 수직 항력이 중력을 상쇄하여 물체가 탁자의 바닥에서 지구를 향해 내려가지 않도록 한다고 볼 수 있다.



그림 Ⅰ-26 부력의 예(배)

탄성력

외부의 힘을 받아 모양이 변한 물체가 다시 원래 상태로 되돌아가려는 힘을 **탄성력**이라 한다.

예를 들어 용수철에 힘을 가하면 길이가 늘어나게 되고, 그 늘어난 용수철이 원래



그림 Ⅰ-27 탄성력의 예(자동차 스프링)



그림 Ⅰ-28 자동차 타이어와 지면의 마찰력

상태로 되돌아가려 하는데 이 힘이 탄성력이다.

탄성력은 원래의 상태로 되돌아가려는 힘이므로, 탄성력의 방향은 물체를 변형시킨 힘과 반대 방향으로 작용한다.

마찰력

책상 위에 있는 책에 힘을 가하여 밀었을 때 책은 움직이다가 멈추는데 이는 책상 표면과 책 바닥의 분자들 사이의 상호 작용에 의해 발생하는 것이다. 이러한 상호 작용을 마찰력이라 하고 이것은 정지하고 있는 물체는 물체가 움직이려는 방향과 반대 방향으로, 움직이는 물체는 물체가 움직이는 방향과 반대 방향으로 작용한다.

마찰력은 크게 운동 마찰력과 정지 마찰력으로 구분한다.

운동 마찰력은 두 물체가 상대적으로 움직이면서 서로 문질러질 때, 발생하는 마찰력이다. 정지 마찰력은 물체가 움직이지 않는 동안에 받는 마찰력을 말한다. 평면 위에 놓여 있던 물체가 외부에서 힘을 받았는데 움직이지 않았다면, 외부의 힘과 크기가 같고 방향이 반대인 정지 마찰력이 작용한 것으로 이해할 수 있다. 이러한 정지 마찰력의 최댓값을 **최대 정지 마찰력**이라고 한다. 외부의 힘이 최대 정지 마찰력보다 커지면 물체는 움직이기 시작하고, 그 이후엔 운동 마찰력을 받게 된다.

운동 마찰력이나 최대 정지 마찰력 F는 마찰 계수 μ와 수직 항력 N의 곱으로 표현한다.

$$F=\mu N$$

예제 3

무게가 5톤인 컨테이너 상자를 움직이려고 한다. 힘을 작게 가하니까 움직이지 않다가 힘의 크기를 점차 크게 하여 1000 N의 힘을 가했더니 움직이기 시작했다. 움직이기 시작할 때의 정지 마찰 계수는 얼마인가?

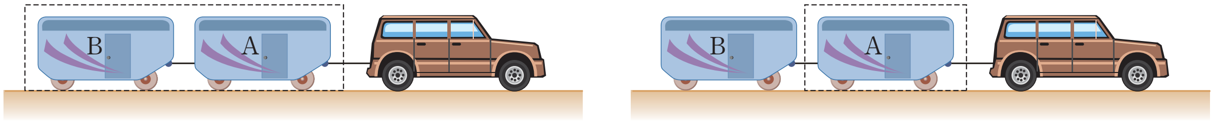
해설 | 움직이기까지는 정지 마찰력이 작용한다. 수직 항력은 중력과 같으므로 $5\times10^3\times10$(N)이다. 그런데 1000 N의 힘에서 움직이기 시작하였으므로 그때의 정지 마찰 계수는 $\mu=\dfrac{1000\text{ N}}{5\times10^3\times10\text{ N}}=0.02$이다.

답 0.02

2. 물체에 작용하는 힘

두 짐차를 끄는 자동차를 생각해 보자.

만일 우리가 그림 Ⅰ-29의 (가)와 같이 두 짐차를 둘러싼 가상의 상자를 끈다



(가) A, B 두 짐차를 하나의 물체로 생각할 때 (나) A 짐차만을 하나의 물체로 생각할 때

그림 Ⅰ-29 짐차들을 하나의 물체로 생각하는 두 가지 경우

면 그 두 짐차를 하나의 물체로 생각할 수 있다. 이 물체에 작용하는 힘으로는 그림 Ⅰ-30과 같이 자동차가 두 짐차를 끄는 힘, 짐차의 바퀴와 도로 사이에 서로 반대 방향으로 작용하는 마찰력, 그 물체를 아래로 잡아당기는 중력, 도로가 그 물체를 위로 미는 힘인 수직 항력이 있다. 이러한 힘이 그 물체에 작용하는 힘이다.

이때 짐차 A가 B를 끄는 힘이나, B가 A를 끄는 힘, 자동차의 바퀴와 도로 사이에 작용하는 힘은 이 물체에 작용하는 힘에 속하지 않는다.

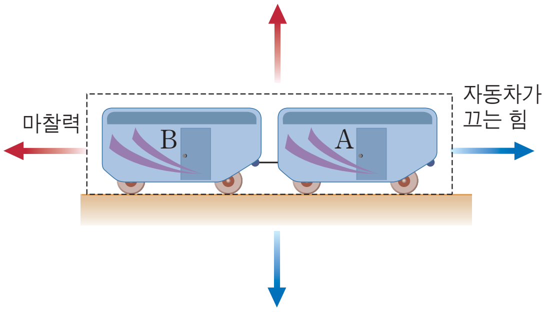


그림 Ⅰ-30 A, B 짐차에 작용하는 힘

만일 그림 Ⅰ-29의 (나)의 짐차 A만을 둘러싼 가상의 상자를 끈다고 할 때에 이 물체에 작용하는 힘은 다르다. 자동차가 짐차 A를 오른쪽 방향으로 끄는 힘, 짐차 B가 짐차 A를 왼쪽 방향으로 끄는 힘, 지구가 짐차 A를 아래로 끄는 힘, 짐차 A의 바퀴와 도로면 사이에 작용하는 마찰력, 도로가 짐차 A에 작용하는 미는 힘이 이 물체에 작용하는 힘이다.

만일 그림 Ⅰ-29의 (가)에서 A, B 두 짐차를 하나의 물체로 생각하고 그 물체에 작용하는 모든 힘을 그리면 그림 Ⅰ-30과 같을 것이다. 이와 같은 힘을 그릴 때 다음 사항을 염두에 두는 것이 중요하다.

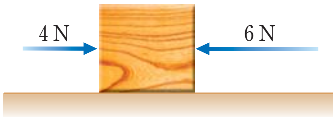
> ① 그림은 분명하고 크게 그린다.
> ② 화살표의 방향은 힘의 방향을 나타내는 방향으로 그린다.
> ③ 화살표의 길이는 힘의 크기에 비례해서 그린다.
> ④ 화살표는 물체에 붙어 있어야 한다.
> ⑤ 모든 화살표에는 이름을 붙인다. 이름에는 무엇이 무엇에 작용하는 힘인지 설명한다. 힘의 값을 알면 그림에 표시한다.

연구 7. 그림 Ⅰ-29의 (나)에서 짐차 A만을 하나의 물체로 가정했을 때의 힘 그림을 그려 보자.

알짜힘 찾기

알짜힘은 물체에 작용하는 모든 힘을 합한 것으로 **합력**이라고도 한다. 실제로 물체의 운동 상태를 바꾸는 힘이다. 알짜힘을 나타내는 방법은 물체를 점으로 그리고, 모든 힘을 물체 밖으로 나타낸다.

예를 들면 어떤 상자에 두 힘이 작용한다고 할 때 그림 Ⅰ-31의 (가)처럼 표시하면 물체의 오른쪽에 왼쪽으로 6 N, 물체의 왼쪽에 오른쪽으로 4 N이 작용한다. 따라서 그림 (나)처럼 물체를 점으로 나타낸 후에 오른쪽 측면에서 왼쪽으로 작용하는 힘을 밖으로 보내고 왼쪽 측면에서 오른쪽으로 작용하는 힘도 밖으로 보내면 쉽게 이해할 수 있다. 따라서 알짜힘의 크기는 6 N－4 N＝2 N이고, 힘의 방향은 두 힘 중 큰 쪽의 방향인 왼쪽이다.



(가) 상자에 작용하는 힘

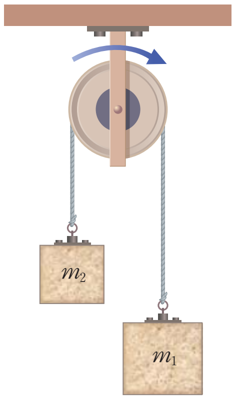


(나) 힘 모식도

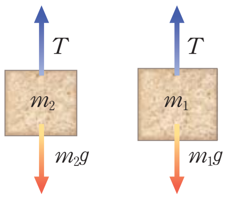
그림 Ⅰ-31 상자에 작용하는 힘과 힘 모식도

예제 4

오른쪽 그림과 같은 문제는 질량이 다른 두 물체를 고정 도르래에 매달고 물체에 작용하는 장력이나 물체가 움직이는 가속도를 구하는 문제로 많이 소개되고 있다. 그림에서 두 물체의 질량 m_1, m_2에 대하여 각 물체에 작용하는 힘과 알짜힘을 구하라. (단, 물체의 질량은 $m_1 > m_2$이고, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)



해설 | 그림에서 각 물체에 작용하는 힘을 나타내었다. 질량이 m_1인 물체에 작용하는 힘은 윗방향으로 작용하는 줄의 장력 T와 아랫방향으로 작용하는 중력 m_1g가 있다. 질량이 m_2인 물체에 작용하는 힘은 윗방향으로 줄의 장력 T와 아랫방향으로 작용하는 중력 m_2g이다.



질량이 m_1인 물체에 작용하는 알짜힘은 $mg_1 - T$이고, 질량이 m_2인 물체에 작용하는 알짜힘은 물체가 위로 움직이므로 $T - m_2g$이다.

3. 뉴턴 운동 법칙

여기에서는 물체에 작용하는 힘의 영향에 대해 살펴보고, 또 어떻게 물체를 움직이는지 알아보자.

운동 제 1 법칙

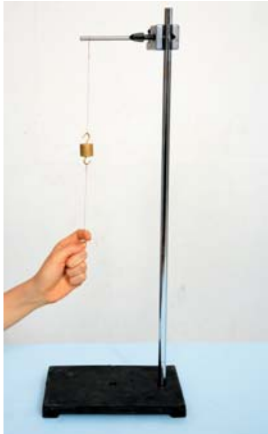
뉴턴은 물체가 움직이는 까닭에 대해 많은 관심이 있었다. 그는 멈추어 있던 물체에 힘을 가하지 않는 한 그 물체는 항상 멈춘 상태로 계속 남아 있을 것이고, 움직이고 있던 물체는 힘이 작용하지 않으면 움직이는 상태를 계속 유지한다고 생각하였다. 이로부터 그는 운동에 관한 제1 법칙을 만들어 냈는데, 이를 **관성 법칙**이라고 한다.

> **뉴턴 운동 제1 법칙(관성 법칙)**
> 물체에 알짜힘이 작용하지 않는 한, 물체는 정지 상태나 일정한 속도로 움직이는 그 상태를 유지한다.

탐구 6 해 보기 **관성 법칙**

준비물 무거운 추, 끈, 스탠드

과 정
1. 오른쪽 그림과 같이 추를 스탠드에 끈으로 매달아 놓는다.
2. 추 아래쪽 끈을 천천히 당기면서 추의 위와 아래의 끈 중 한 끈이 끊어질 때까지 당긴다.
   ⇨ 둘 중 어느 끈이 끊어질지 답을 하고, 그 까닭을 설명하여 보자.
3. 또 다른 끈으로 다시 추를 처음처럼 매달고 빠르게 아래 끈을 당긴다.
   ⇨ 둘 중 어느 끈이 끊어질지 답을 하고, 그 까닭을 설명하여 보자.



탐구 6에서와 같이 추를 천천히 당기면 추의 무게 때문에 위쪽 실이 끊어지고, 추를 빨리 당기면 아래쪽 실이 끊어지는데 이것은 추의 관성 때문이다.

뉴턴 운동 제 1법칙인 관성 법칙으로 인한 현상은 우리 주위에 많이 일어난다. 그림 Ⅰ-32와 같이 자동차가 급정거할 때에 사람의 몸이 앞으로 쏠리게 되며 안전띠를 매고 있지 않으면 크게 다칠 수 있다. 이것은 자동차와 같이 일정한 속도로 움직이고 있던 몸이 자동차가 급정거할 때 관성 법칙에 따라 계속 앞으로 진행하려 하기 때문이다.



그림 Ⅰ-32 자동차의 충돌과 안전띠

연구 8. 자동차가 방향을 바꾸거나 속력이 변화할 때 몸이 한쪽으로 쏠리는 까닭을 생각하여 보자.

운동 제 2 법칙

알짜힘이 작용하지 않는다면 움직이던 물체는 움직이는 상태를 유지하고, 멈추어 있던 물체는 계속 멈춘 상태를 유지한다는 것을 배웠다.

물체에 알짜힘이 작용하면 운동 상태가 어떻게 변할까?

다음 탐구에서 물체의 질량이 일정할 때 물체의 가속도는 물체에 작용하는 힘과 어떤 관계가 있는지 알아보자.

탐구 7 해 보기 **힘과 가속도의 관계**

준비물 시간 기록계, 종이 테이프, 용수철 저울, 역학용 수레, 자, 모눈종이



과 정

1. 오른쪽 그림과 같이 수레의 앞뒤에 용수철 저울과 종이 테이프를 연결하고 시간 기록계를 고정시킨다.
2. 시간 기록계의 전원을 켜고 용수철 저울이 0.3 N의 일정한 눈금을 가리키도록 수레를 당긴다.
3. 실험으로부터 얻은 종이 테이프 6타점 간격(0.1초)으로 표시한 후, 각 구간의 길이를 자로 재고 수레의 평균 속도를 구하여, 수레의 속도와 시간의 관계 그래프를 그린다. 그리고 이 그래프의 기울기로부터 가속도를 구한다.
4. 용수철 저울의 눈금이 0.6 N, 0.9 N을 가리키도록 과정 2, 3을 반복한다.
5. 가속도와 힘의 관계 그래프를 그린다.

정 리

1. 매 6타점 길이를 속도에 대응한다고 말할 수 있는가? 이 값과 속도의 관계를 말해 보자.
2. 속도와 가속도 값으로부터 이 수레의 운동 특징을 말해 보자.

탐구 7로부터 물체의 질량이 일정할 때, 물체의 가속도 a는 그 물체에 가해준 힘의 크기 F에 비례한다는 것을 알 수 있다.

$$a \propto F$$

다음 탐구를 통하여 같은 세기의 힘을 가할 때 물체의 질량과 가속도가 어떤 관계가 있는지 알아보자.

탐구 8 **해 보기** **질량과 가속도의 관계**

준비물 시간 기록계, 종이 테이프, 용수철 저울, 역학용 수레, 금속 막대 2개(역학용 수레의 질량과 같은 것), 자, 모눈종이

과 정
1. 탐구 7의 실험 장치에서 역학용 수레에 올려놓는 금속 막대의 수를 달리하면서 수레를 9 N의 일정한 힘으로 끌어 수레의 운동을 종이 테이프에 기록한다.
2. 수레의 운동을 기록한 종이 테이프를 6타점 간격(0.1초)으로 표시한 후, 각 구간의 길이를 자로 잰다.
3. 각 구간의 평균 속도를 계산하여, 속도와 시간의 관계 그래프를 그린다. 그래프를 그릴 때, 수레만의 값(0.3 N)도 사용한다. 그리고 이 그래프의 기울기로부터 가속도 값을 구한다.
4. 가속도와 질량의 관계 그래프를 그린다. 또, 질량의 역수를 구해 가속도와 질량의 역수 그래프도 그린다.

정 리
1. 이 수레의 운동 특징을 말해 보자.
2. 힘이 일정할 때, 질량과 가속도는 어떤 관계가 있는가?
3. 힘과 가속도의 관계와 질량과 가속도의 관계 실험을 통해 힘, 질량, 그리고 가속도 사이에는 어떤 관계가 있는가?

탐구 8을 통해 볼 때 물체에 작용하는 힘이 일정할 때, 물체의 가속도 a는 그 물체의 질량 m에 반비례한다는 것을 알 수 있다. 이제 탐구 7과 8을 종합하여 보면 질량이 m인 물체에 F의 힘을 가하여 a의 가속도로 움직이는 경우 이들 사이에는 다음과 같은 비례 관계가 있다는 것을 알 수 있다.

$$a=k\frac{F}{m}$$

여기에서 질량 1 kg인 물체를 1 m/s^{2}의 가속도로 운동하게 하는 힘의 크기를 1 N으로 정하므로 $k=1$이다.

뉴턴 운동 제2 법칙

물체에 힘이 작용하면 알짜힘의 방향으로 그 물체가 가속될 것이고, 그 가속도 a는 물체에 작용하는 알짜힘 F에 비례하고 질량 m에 반비례한다. 이를 수식으로 나타내면 $a=\frac{F}{m}$, 즉 $F=ma$이다.

뉴턴 운동 제2 법칙은 힘을 받은 물체가 가속도를 가지고 움직이는 운동을 설명하여 준다. 물체에 주어진 힘을 알면 물체의 가속도를 알게 되고, 이렇게 구한 가속도를 통하여 물체의 시간별 속도나 위치 등과 같은 운동 과정을 구체적으로 알 수 있다.

질량과 무게

물체의 특성을 나타내는 물리량 중 하나인 질량은 물체의 운동과 밀접한 관계가 있다. 질량의 단위는 g, kg으로 나타낸다. 뉴턴의 제2법칙에 따르면 힘은 질량 곱하기 가속도로 나타낸다. 따라서 힘의 단위로 1N은 1 kg·m/s^{2}이다.

우리는 흔히 무게를 말할 때 질량처럼 50 kg, 60 kg이라 말하지만 물리적으로 무게는 '중력에 의해 물체가 받는 힘'이다. 따라서 무게는 힘의 크기이므로 질량에 중력 가속도를 곱하여 구한다.

지구의 중력 가속도는 지구의 중력에 의해 모든 물체에 작용하는 가속도로 10 m/s^{2}이다. 따라서 질량이 50 kg인 물체의 무게는 질량에 중력 가속도를 곱하여 50 kgf, 또는 50 kg$\times$10 m/s^2=500 N에 해당하는 힘과 같다. 만일 이 물체를 달로 가져가면 달의 중력 가속도는 지구의 중력 가속도의 약 $\frac{1}{6}$인 1.7 m/s^{2}이므로 그 무게는 50 kg$\times$1.7 m/s^2=85 N에 해당하는 힘과 같다.

운동 제3법칙



그림 Ⅰ-33 작용 반작용

뉴턴의 운동 제3법칙은 두 물체 사이에 작용하는 힘에 대한 법칙이다. 예를 들어 그림 Ⅰ-33과 같이 벽에 대고 있는 책을 떨어뜨리지 않으려면 책을 눌러야 한다. 그러면 책도 책을 누른 힘과 크기는 같고 방향이 반대 방향인 힘을 가한다. 만일 책을 누르는 힘과 반대 방향으로 책이 손에 힘을 가하지 않는다면 누르는 손은 책을 뚫고 지나가야 할 것이다. 이처럼 반대 방향으로 서로 힘을 주고받는 두 물체에 작용하는 힘의 쌍을 작용 반작용이라고 한다.

> **뉴턴 운동 제3법칙(작용 반작용 법칙)**
> 만일 A라는 물체가 B 물체에 힘을 가하면 B 물체도 같은 크기면서 방향이 반대인 힘을 A 물체에 가한다.

예제 5

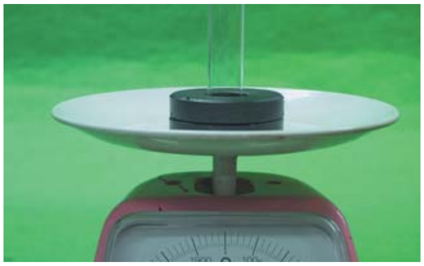
마찰이 없는 평평한 얼음판 위에서 질량 60 kg인 어른과 질량 30 kg인 어린이가 줄의 양끝을 잡고 수평으로 서로 잡아당겨 어린이가 30 N의 힘을 받을 때, 어른의 가속도는 얼마인가?

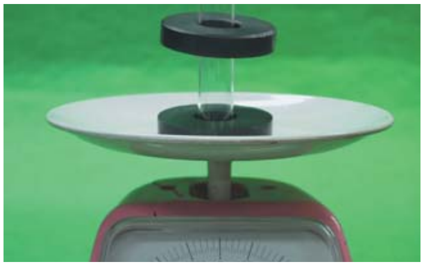
해설 | 작용 반작용에 의해 어른이 받는 힘과 어린이가 받는 힘은 같다. 따라서 어른이 받는 힘도 30 N이다. 뉴턴의 운동 법칙에 대입하면, 30 N=60 kg$\times a$, 그러므로 어른의 가속도는 0.5 m/s^{2}이다.

답 0.5 m/s^2

탐구 9 **시범 관찰** **떠 있는 자석의 무게는?**

- **준비물** 둥근 고리 자석 2개, 고리 자석을 수직으로 끼울 수 있는 수직봉, 저울
- **과 정**
  1. 다음 그림 (가)와 같이 두 개의 고리 자석을 서로 붙게 한 후 수직 봉에 끼워 세우고 저울 위에 올려놓는다.
     ⇨ 저울의 눈금은 얼마인가?
  2. 이번에는 그림 (나)와 같이 두 개의 고리 자석을 같은 극끼리 마주 보게 하여 한 개의 자석이 공중에 떠 있도록 한 후 저울 위에 올려놓는다.
     ⇨ 저울의 눈금은 얼마인가?
- **정 리** • 과정 1과 2에서 저울의 눈금을 비교해 보고, 왜 그런지 설명해 보자.


(가)


(나)

4. 운동량과 충격량

운동량은 물체의 운동 규모와 관련된 물리량으로서, 질량이 m이고, 속도가 v인 물체의 운동량은 $p=mv$로 정의하고 단위로는 kg·m/s를 사용한다. 만일 물체가 운동하는 동안에 질량이 변하지 않는다면 뉴턴의 운동 법칙은 힘이 일정한 경우

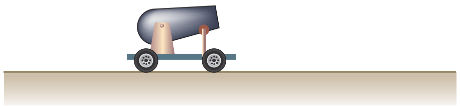
$$F=ma=m\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{\Delta p}{\Delta t}$$

로 나타낼 수 있다. 즉 물체에 작용한 힘은 그 물체의 운동량의 시간에 따른 변화율이다. 따라서 물체에 알짜힘이 작용하지 않는다면 그 물체의 운동량은 항상 같다. 이를 **운동량 보존 법칙**이라고 한다.

운동량 보존

알짜힘이 작용하지 않으면 그 계의 운동량의 합은 항상 보존된다. 이를 운동량 보존 법칙이라 한다.

그림 Ⅰ-34의 (가)와 같이 대포가 포탄을 발사하기 전에는 정지하고 있으므로 운동량이 0이다. 그림 (나)와 같이 포탄을 발사하면 포신이 뒤로 약간 물러나게 되어 포탄과 반대 방향의 운동량을 갖게 된다. 따라서 포탄의 운동량과 포신의 두 운동량을 합하면 발사 이전과 같이 0이 된다. 즉 운동량이 보존된다.


(가)


(나)

그림 Ⅰ-34 운동량 보존의 예

한편 위 식의 양변에 Δt를 곱하면

$$F\Delta t=m\Delta v$$

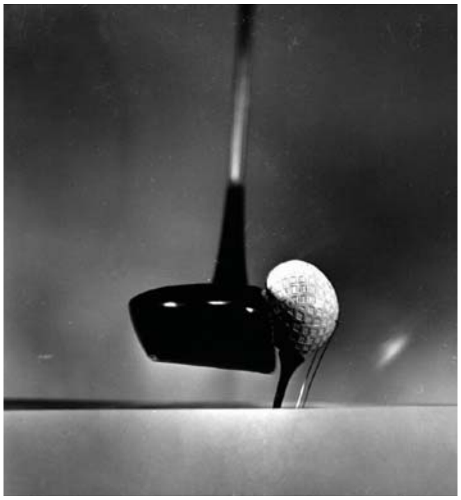


그림 Ⅰ-35 골프채에 의한 골프공의 변형



그림 Ⅰ-36 야구 경기에서의 포수



그림 Ⅰ-37 배구공이 튀기는 모습

를 얻을 수 있다. 이 식에서 $F\Delta t$는 물체에 가해진 힘과 시간을 곱한 양으로 **충격량**이라 하고, 단위로는 N·s를 사용한다.

만일 물체가 운동하는 동안에 질량이 변하지 않는다면

$$\Delta p = m\Delta v$$

이므로 위 식의 우변은 바로 운동량의 변화량이라 할 수 있다. 결국 이 식은 물체에 가해진 충격량은 물체가 가진 운동량의 변화와 같음을 말해주고 있다.

운동량이 증가하는 경우

물체의 운동량을 증가시키려면 가능하면 힘을 최대로 작용해야 한다.

골프 선수가 골프공을 칠 때나 야구 선수가 안타를 칠 때 가능하면 골프채나 야구 배트를 강하게 휘둘러야 한다. 충격 때 관여하는 힘은 매순간 변한다. 골프채로 공을 때리기 전까지는 힘이 작용하지 않다가 그림 Ⅰ-35와 같이 골프채와 공의 접촉 순간 작용하는 힘은 증가하고 공은 변형되며, 공이 날아가는 동안 원래 모양으로 되돌아온다.

운동량이 감소하는 경우

두 물체가 충돌하여 멈출 때 처음의 운동량이 줄어든다. 이때 충격량은 처음 운동량의 크기와 같다. 또 충돌 시간은 물체가 받는 힘과 반비례하므로 충돌 시간이 커질수록 그 물체에 작용하는 힘은 줄어든다. 따라서 충돌할 때에 물체에 작용하는 힘을 줄이기 위해서는 충돌 시간을 길게 해야 한다.

그림 Ⅰ-36과 같이 야구 경기에서 투수가 던진 공을 포수가 받을 때 가능하면 충돌 시간을 길게 하기 위해 야구 장갑에 충격을 흡수하는 재질을 사용한다. 물론 공을 받을 때에도 가능하면 충돌 시간을 길게 하기 위해 받는 손을 뒤로 움직이며 받는다.

도로 튕기는 경우

배구는 공을 손으로 튕기는 경기이다. 배구공이 손에서 튕겨 나갈 때 공의 속도의 방향이 충돌 전 후에 반대로 바뀌게 되어 운동량의 변화가 가장 크다.

충돌 전후가 같은 방향이라면 운동량의 변화량은 나중 운동량에서 처음 운동량을 뺀 값

$$\Delta p = p_{나중} - p_{처음}$$

이다. 그런데 튕기는 경우처럼 충돌 전후의 방향이 정반대가 된다면 운동량의 변화량은 두 운동량의 크기를 더한 값이므로 튕기는 경우 운동량의 변화가 가장 크다.

$$\Delta p = p_{나중} - (-p_{처음}) = p_{나중} + p_{처음}$$

라켓이나 배트를 사용하는 운동에서는 그림 Ⅰ-38과 같이 공을 때릴 때 끝까지 휘둘러야 한다. 배트나 라켓을 끝까지 휘두르면 공의 속도는 빨라진다. 그런데 이때 관여하는 것은 힘이 아니다. 때릴 때 힘은 휘두르는 사람이 얼마나 강하게 휘두르냐에 따라 결정된다. 대신 끝까지 휘두르면 충돌 시간이 길어진다. 이로 인해 공에 작용하는 충격량이 커지고 공의 속도의 변화도 커진다. 그러면 공은 빨라지게 된다.



그림 Ⅰ-38 야구 경기에서 배트와 공의 충돌

과학과 **생활**



테니스 라켓은 공을 받을 때 충격을 흡수하기 위해 일반적으로 고무 같은 재질로 된 부분이 있어 줄의 진동을 흡수하도록 한다. 보통 공이 테니스 라켓에 닿을 때는 끈에 강한 진동을 전해주며, 이 진동을 흡수하는 역할을 담당한다. 테니스공은 줄에 진동을 전달하고 줄은 그것을 라켓의 프레임에 전달한다. 그 다음에는 테니스 라켓을 잡은 팔로 전달된다. 최근에 흔히 사용되는 테니스 라켓의 충격 흡수기는 진동을 흡수하기 위하여 고무로 두 줄 이상을 걸쳐 설치하여 진동으로부터 충격과 에너지를 흡수하도록 하고 있다. 어떤 것은 두 끈 사이에 넣도록 하고 있다. 또 여러 끈을 걸치도록 설치하는 예도 있고 조절할 수 있는 예도 있다.

한 걸음 **더**

운동량 보존과 운동 제3법칙

운동량 보존 법칙은 작용 반작용 법칙에 따라 성립한다. 두 물체의 충돌, 한 물체로 합쳐지는 융합, 한 물체가 두 개 이상의 물체로 되는 분열(폭발) 등과 같이 짧은 시간 힘을 작용하는 순간적인 현상에서 마찰력이나 중력 등의 외력이 작용한 충격량이 무시될 때 항상 성립한다. 즉, 힘의 작용 시간이 매우 짧고 마찰력, 중력이 무시될 때 성립한다. 물체계 내의 물체들 사이에 작용 반작용으로 짝을 이룬 내력은 각 물체의 운동량을 변화시키지만 물체계 전체 운동량의 총합은 보존된다.

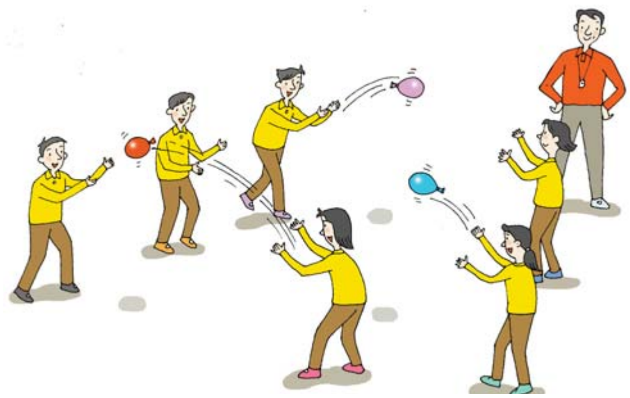
뉴턴은 제3법칙을 이용하여 운동량 보존 법칙을 유도하였다. 그러나 좀 더 깊이 들여다보면 운동량 보존은 더 근본적인 개념을 품고 있다. 이것은 대칭성과도 관련이 있다. 입자들이 운동량을 가지고 있는 경우처럼 제3법칙이 실패해도 보존 법칙은 성립한다.

탐구 10 실험 운동량과 충격량

준비물 풍선, 물

과 정
1. 모둠별로 같은 양의 물을 채운 풍선을 가지고 운동장에 모인다.
2. 각 모둠은 서로 2 m 정도 떨어져서 풍선을 터뜨리지 않고 조심스럽게 주고받는다.
3. 풍선을 잡는 데 성공하면 뒤로 한 걸음씩 물러나 같은 일을 반복한다.

   유의 거리가 멀어질수록 더 큰 속도(운동량)로 풍선을 던진다. 풍선에 가한 힘을 늘리지 않으면서 운동량을 0으로 만들기 위해서는 힘이 작용하는 시간을 늘릴 필요가 있다. 풍선을 받는 사람은 풍선이 손에 닿을 때 뒤로 물러나면서 풍선이 천천히 감속하도록 팔을 앞으로 뻗어 풍선에 작용하는 힘을 최소화해야 한다.



정 리
1. 무엇을 배웠는지 설명해 보자.
2. 물 풍선을 잡는 데 가장 효과가 큰 기술은 무엇인가? 운동량과 충격량으로 설명해 보자.

응 용
1. 번지 점프할 때 사용하는 줄은 탄성이 있어 멈출 때까지 10~15회 오르고 내리기를 반복한다. 탄성이 없는 줄을 사용하면 왜 위험한지 뉴턴 운동 제2법칙을 적용하여 설명해 보자.
2. 높은 다이빙 보드에서 뛰어내리는 다이빙 선수는 물에 들어가도 상처를 입지 않는다. 만일 같은 사람이 같은 높이에서 콘크리트 바닥으로 뛰어내린다면 결과는 전혀 다를 것이다. 그 까닭을 운동량과 충격량을 사용하여 설명해 보자.
3. 골프채나 테니스 라켓과 같은 운동 기구에서 충격이 흡수되는 구조를 찾아보자.



번지 점프



다이빙

5 일과 에너지

학습 목표

1. 물리학적인 일과 일상에서 사용하는 일의 개념을 이해한다.
2. 등가속도 운동에서 운동 에너지의 정의와 일 · 운동 에너지 정리를 이해한다.
3. 퍼텐셜 에너지와 역학적 에너지 보존 법칙을 이해하고 응용할 수 있다.



놀이 공원에 가면 여러 가지 놀이기구가 있는데 그중에서 오른쪽 그림과 같은 놀이기구는 약 70 m 상공까지 올라갔다가 갑자기 내려와 우리들을 놀라게 한다. 이 과정에서 물리학적인 여러 원리들이 적용되는 것을 알 수 있다.

여기에서는 이러한 여러 원리들과 관련된 내용을 알아보자.

1. 일

물체에 힘을 가해 물체가 이동했을 때 힘이 물체에 일을 했다고 한다. 물체가 일을 한다는 것에는 세 가지 요소가 포함되어 있어야 한다. 이 세 가지는 힘, 변위, 방향이다. 일상생활에서 흔히 볼 수 있는 예로 학생이 가방을 들어 올려 어깨에 멘다든가, 상점에서 물건을 싣고 카트를 미는 행동, 운동 경기에서 역도 선수가 바벨을 들어 머리 위로 올린다든가 하는 것들이다. 이 모든 예들은 물체에 힘을 작용하여 변위가 생기는, 즉 이동하는 경우이다.

물음 10. 다음 예가 물리학적인 일인지 답하라.

(1) 선생님이 움직이지 않는 벽에 힘을 주어 밀고 있다.
(2) 책이 책상 위에서 바닥으로 떨어졌다.
(3) 로켓이 우주로 가속해 간다.

일이란 단어는 일상생활에서 다양한 의미로 쓰인다. 그러나 물리학에서는 일이란 용어는 특별한 의미로 사용되는데, 힘이 작용하여 물체를 일정 거리만큼 이동시켰을 때 생긴 물리량을 말한다. 일정한 크기와 방향의 힘에 의해 물체가 힘과 같은 방향으로 이동했을 때 물체에 한 일의 양 W는 이동 거리 s에 힘 F를 곱한 것이다.

$$W = Fs$$

만일 그림 Ⅰ-39와 같이 힘의 방향과 이동 방향이 일치하지 않으면 작용한 힘에서 이동 방향 성분만 고려하여 다음 식으로 일반화하여 나타낼 수 있다.

$$W = F\cos\theta \times s = Fs\cos\theta$$

여기에서 θ는 힘의 방향과 이동 방향 사이의 각이며, $F\cos\theta$는 물체가 이동한 방향으로의 힘의 크기이다.

일의 단위는 J(줄)이며, $1\ \text{J} = 1\ \text{N}\cdot\text{m} = 1\ \text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$이다.



그림 Ⅰ-39 물체에 F만큼의 힘을 가하여 s만큼 이동하였을 때 물체에 해 준 일

이에 대한 정확한 의미를 이해하기 위하여 다음과 같은 세 가지 특별한 경우를 생각하여 보자.

① 물체에 힘을 오른쪽으로 가하면서 오른쪽으로 이동하는 경우는 힘의 방향과 이동 방향이 일치하므로 $\theta=0^\circ$이며, 일의 값은 양(+)이다.
② 물체에 힘을 왼쪽으로 가하는데 물체는 오른쪽으로 이동하는 경우는 힘의 방향과 이동 방향이 반대이므로 $\theta=180^\circ$이며, 일의 값은 음(−)이다.
③ 물체에 힘을 위로 가하면서 오른쪽으로 이동하게 하는 경우는 힘의 방향과 이동 방향이 서로 수직이므로 $\theta=90^\circ$이며, 일의 값은 0이다.

②에 대한 예는 움직이는 자동차에 반대로 작용하는 마찰력으로 멈추도록 하는 경우이다.

일의 값이 0인 경우는 모두 세 가지가 있을 수 있다. 힘이 0이면서 움직이는 경우, 힘이 작용하지만 이동 거리가 0인 경우, 힘도 작용하고 이동도 했지만 $\cos\theta=0$, 즉 힘의 방향과 이동 방향이 서로 수직인 경우로 ③에 해당한다.

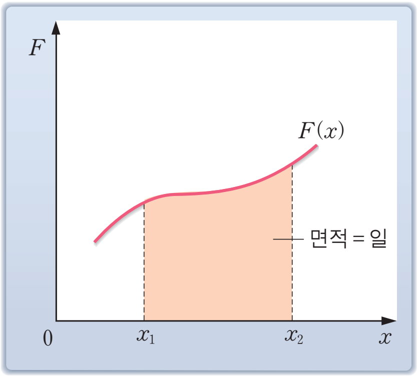


그림 Ⅰ-40 힘과 변위 그래프에서 일

연구 9. 일이 음(−)이란 의미는 무엇인지 예를 들어 설명하여 보자.

그림 Ⅰ-40과 같이 힘의 크기 F가 물체의 위치 x에 따라 달라지면서 물체가 이동하면 그래프 아래의 면적이 일에 해당한다.

2. 운동 에너지

운동 에너지(Kinetic energy)
운동 에너지라는 용어는 움직인다는 의미를 가진다. 그리스어인 'kinesis'라는 말에서 유래하였고, '움직인다'라는 의미가 있다.

질량이 m인 물체가 속도 v로 움직일 때 운동 에너지는 다음의 식으로 주어진다.

$$K=\frac{1}{2}mv^2$$

위 식에서 만일 속도가 두 배가 된다면 운동 에너지는 네 배가 된다는 것을 알 수 있고 이 양은 속도의 크기에 관계할 뿐 속도의 방향과는 관계없는 양이다. 운동 에너지의 단위는 일의 단위와 같다.

어떤 물체가 더 빠르게 움직인다면 더 큰 운동 에너지를 가진다는 의미이고, 질량이 커도 더 큰 운동 에너지를 가지고 있을 것이다. 어떤 차가 비탈길을 가속하면서 내려올 때에는 속도가 증가할 것이며, 자동차의 운동 에너지도 증가할 것이다.

3. 퍼텐셜 에너지(위치 에너지)

퍼텐셜 에너지는 물체가 어떤 특정한 위치에서 힘을 가해 기준이 되는 위치로 돌



(가) 추가 올라가 있을 때의 퍼텐셜 에너지



(나) 활을 당길 때의 퍼텐셜 에너지

그림 Ⅰ-41 퍼텐셜 에너지의 예

아갈 때까지 힘이 해준 일로서 일을 할 수 있는 에너지이다. 퍼텐셜 에너지로는 탄성 퍼텐셜 에너지, 중력 퍼텐셜 에너지, 전기 퍼텐셜 에너지 등이 있다. 예를 들어 그림 Ⅰ-41의 (가)와 같이 기둥을 세울 때 사용하는 기계의 무거운 추는 그것이 올라가 있을 때 퍼텐셜 에너지를 가지고 있다. 마찬가지로 그림 (나)와 같이 양궁 선수가 활을 잡아당길 때 그 활은 퍼텐셜 에너지를 가지고 있다. 그러나 활이 원래의 위치에 있을 때에는 활이 가지는 퍼텐셜 에너지는 없다.

중력 퍼텐셜 에너지

물체를 지표면에서 위로 올리기 위해서는, 중력이 작용하기 때문에 물체에 일을 해 주어야 한다. 이렇게 물체가 특정한 위치로 올라가 있을 때 가지는 에너지가 중력 퍼텐셜 에너지이다. 이 물체가 다시 지표면으로 떨어질 때 물체는 외부에 일을 할 수 있다. 그림 Ⅰ-41의 (가)처럼 무거운 추가 올라가 있을 때 **중력 퍼텐셜 에너지**를 가진다.

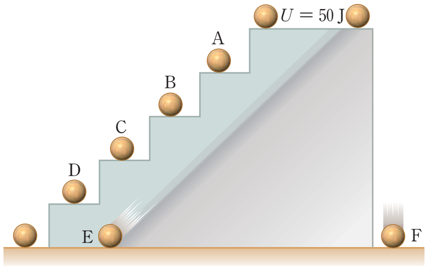
물체를 지표면에서 위로 h만큼 올리기 위해서 해주는 일은 물체의 무게 mg만큼의 일정한 힘을 가하여 h만큼 이동하였으므로 물체는 지표면을 기준으로 하여

$$U = mgh$$

만큼의 중력 퍼텐셜 에너지를 가지게 된다. g는 중력 가속도로서 약 10 m/s^{2}이다.

따라서 질량이 10 kg인 물체가 지상으로부터 100 m 높이에 있으면 그 물체가 가지고 있는 중력 퍼텐셜 에너지는 10 kg × 10 m/s^2 × 100 m = 10,000 kg·m^2/s^2 = 10,000 J이다.

물음 11. 오른쪽 그림에서 5계단 위에 있는 물체의 중력 퍼텐셜 에너지가 50 J이다. A부터 F까지의 각 위치에서의 중력 퍼텐셜 에너지는 얼마인가? 단, E는 비탈을 미끄러져 내려온 경우이고, F는 바로 아래로 떨어진 경우이다. 또한 각 계단의 높이는 모두 같다.



탄성 퍼텐셜 에너지

탄성 퍼텐셜 에너지는 탄성체가 늘어나거나 줄어듦으로써 저장되는 에너지이다. 탄성 퍼텐셜 에너지는 고무줄, 트램펄린, 용수철, 활시위 등이 평형 위치에서 이동하였을 때 저장되는 에너지이다. 용수철은 늘어날 때와 줄어들 때 모두 에너지가 저장되는 특이한 경우이다.

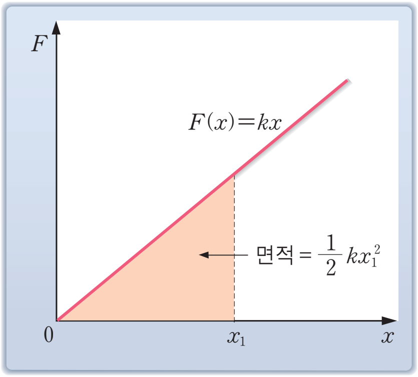


그림 Ⅰ-42 탄성 퍼텐셜 에너지

용수철의 경우에 힘이 작용하여 용수철이 x만큼 늘어났을 때 늘어난 길이는 용수철에 작용한 힘에 비례한다. 따라서 길이가 x만큼 늘어난 용수철이 원래의 길이로 되돌아가려는 탄성력 F의 크기는 다음과 같다.

$$F = -kx$$

이를 훅의 법칙이라고 한다. 여기에서 (−)는 마찰력과 용수철의 변위가 반대 방향이라는 의미이며, k는 용수철의 특성에 따라 정해지는 **용수철 상수**이다. 만일 용수철이 늘어나거나 줄어들지 않았다면 탄성 퍼텐셜 에너지가 저장되지 않은 것이다. 즉, 용수철은 평형 위치에 있다.

용수철을 평형 위치에서 길이 x_1만큼 늘리기 위해서는 그림 1-42만큼의 일을 해주어야 한다. 그 일의 양은 그림에서 색칠한 면적에 해당하는 $\frac{1}{2}kx^2$이다. 따라서 평형 위치에서 x만큼 이동한 용수철이 가지는 탄성 퍼텐셜 에너지는 평형 위치를 기준으로 다음과 같다.

$$U = \frac{1}{2}kx^2$$

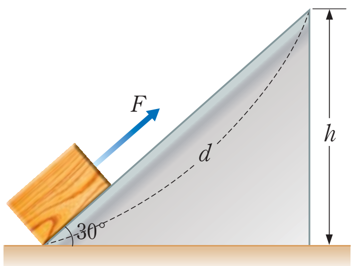
예제 6

용수철 상수가 5 N/m인 용수철을 0.1 m 늘렸다. 이 용수철에 저장되는 퍼텐셜 에너지를 구하라.

해설 | $U = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2} \times 5\ \text{N/m} \times (0.1\ \text{m})^2 = 0.025\ \text{J}$

답 0.025 J

물음 12. 오른쪽 그림과 같이 질량이 3 kg인 물체를 기울기가 30°인 빗면을 따라 일정한 힘을 주어 밀어 올렸다. 단, 물체가 올라간 수직 높이 h는 0.45 m이고, 중력 가속도는 10 m/s^{2}이며, 모든 마찰은 무시한다.



(1) 높이 h에서 퍼텐셜 에너지는 얼마인가?
(2) 비탈을 따라 이동한 거리 d는 얼마인가?
(3) 얼마의 힘으로 밀어야 하는가?
(4) (2)와 (3)의 결과로 힘이 물체에 해 준 일은 얼마인가?

4. 일 · 에너지 정리

일 · 에너지 정리는 일과 에너지 사이의 관계로서, 물체에 일을 해주면 물체의 에너지가 변하는 것을 말한다.

일과 운동 에너지

정지하고 있는 질량 m인 물체에 일정한 힘 F를 가하였더니 t초 후에 속도가 v로 되었다. 이때 가속도는 $a=\dfrac{F}{m}$이고 물체가 t초 동안 이동한 거리는 $s=\dfrac{1}{2}at^2$이므로 물체에 한 일 W는 다음과 같다.

$$W=Fs=F\times\frac{1}{2}\frac{F}{m}t^2=\frac{1}{2}m\times\left(\frac{F}{m}t\right)^2=\frac{1}{2}m(at)^2=\frac{1}{2}mv^2$$

이때 물체의 처음 속도가 0이므로 처음 운동 에너지도 0이다. 따라서 물체에 해준 일의 양은 운동 에너지가 증가한 양과 같다.

한 물체가 두 지점 사이를 이동하면서 얻은 일의 양은 두 지점 사이의 운동 에너지의 변화량과 같다.

$$W_{1\to2}=\Delta K=K_2-K_1=\frac{1}{2}mv_2{}^2-\frac{1}{2}mv_1{}^2$$

예제 7

질량이 0.2 kg인 공을 일정한 힘을 주어 던져서 0.1초 만에 공의 속도가 50 m/s가 되었다. 이때 공의 운동 에너지는 얼마인가? 또 이 공에 가한 힘은 얼마인가?

해설 | 공의 운동 에너지는 $\dfrac{1}{2}mv^2=\dfrac{1}{2}\times0.2\text{ kg}\times(50\text{ m/s})^2=250\text{ J}$이다. 0.1초만에 공의 속도가 50 m/s이므로 가속도는 500 m/s^{2}이다. 따라서 이 공에 가한 힘은 $F=ma=0.2\text{ kg}\times500\text{ m/s}=100\text{ N}$이다.

답 250 J, 100 N

일과 퍼텐셜 에너지

지표면에서 높이 h인 곳에 있는 질량이 m인 물체에 중력이 일을 하여 지표면으로 수직 이동하면 마찰과 공기저항이 없을 때 그 일의 양은 $W_{1\to2}=mg\times h=mgh$이다.

한편 퍼텐셜 에너지는 지표면에서 높이 h인 곳에서 지표면으로 오는 동안에 mgh 만큼 줄어들어 퍼텐셜 에너지의 변화량은

$$\Delta U=U_2-U_1=-mgh$$

가 된다. 따라서 일과 퍼텐셜 에너지의 관계는

$$W_{1\to2}=U_1-U_2=-\Delta U$$

이다. 즉, 한 물체에 주어진 알짜 일의 양은 퍼텐셜 에너지의 음의 변화량과 같다.

예제 8

용수철 상수가 5 N/m인 용수철을 평형 상태에서 0.05 m만큼 늘렸다.

(1) 이 상태를 유지하려면 얼마의 힘을 작용해야 하는가?

(2) 얼마만큼의 일을 해준 셈인가?

(3) 퍼텐셜 에너지는 얼마나 증가하였나?

해설 | (1) 훅의 힘 $F=-kx$를 거슬러 주어야 하므로 $F=kx=5\ \mathrm{N/m}\times0.05\ \mathrm{m}=0.25\ \mathrm{N}$이다.

(2) 이때 용수철을 처음의 평형 상태에서 늘리기까지 힘이 위치에 따라 달라진다. 따라서 해준 일의 양은 단순히 힘과 이동 거리의 곱이 아니고, 힘을 변위의 함수로 그린 그래프의 아래 면적에 해당한다.

$$W=\frac{1}{2}kx\times x=\frac{1}{2}\times5\ \mathrm{N/m}\times(0.05\ \mathrm{m})^2=0.00625\ \mathrm{J}$$

(3) 퍼텐셜 에너지는 해 준 일만큼 증가하므로 평형 상태보다 0.00625 J 증가하였다.

답 (1) 0.25 N (2) 0.00625 J (3) 0.00625 J

에너지 보존

과학자들의 생각으로는 에너지 보존이란 에너지를 절약하는 것은 아니다. 에너지 보존 법칙이란 에너지가 생성되거나 소멸되지 않는다는 것을 의미한다. 우리가 에너지를 사용할 때 사라지지 않는다. 다만 그것을 어떤 형태에서 다른 형태로 바꾸는 것이다. 엔진이 휘발유를 태우면 휘발유에 있는 화학에너지를 운동 에너지로 변화하는 것이다. 태양 전지는 빛에너지를 전기 에너지로 변화시킨다. 에너지는 형태를 변하기는 하지만 우주에 존재하는 에너지의 총합은 늘 같다.

4. 역학적 에너지와 역학적 에너지 보존

물체에 일을 해 주면 물체는 운동을 하거나 위치가 바뀐다. 물체가 운동함으로써 운동 에너지를 가지며, 물체의 위치가 달라짐으로써 퍼텐셜 에너지가 달라진다. 역학적 에너지는 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 합으로 정의된다. 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지는 운동하는 동안 서로 전환된다. 그러나 그 합, 즉 역학적 에너지는 늘 일정하다. 이것을 **역학적 에너지 보존 법칙**이라고 한다.

예를 들어 그림 I-43과 같이 놀이 공원의 바이킹이 높이 올라가면서 퍼텐셜 에너지를 가지게 되며, 이것이 아래로 내려오면서 운동 에너지로 전환되고, 다시 높이 올라가면서 퍼텐셜 에너지로 전환된다. 이처럼 퍼텐셜 에너지가 운동 에너지로, 또는 운동 에너지가 퍼텐셜 에너지로 전환되지만 그 합은 늘 일정한 값으로 보존된다. 앞에서 일 · 에너지 정리로부터

$$\Delta K=K_2-K_1=W,\ -\Delta U=U_1-U_2=W$$

$$U_1-U_2=K_2-K_1$$

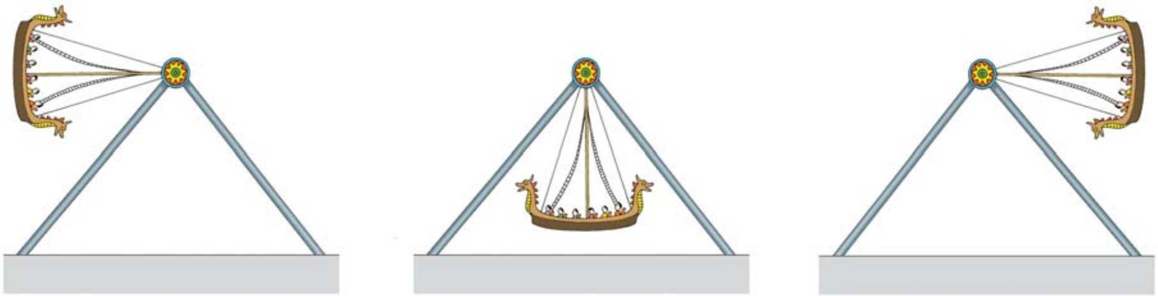


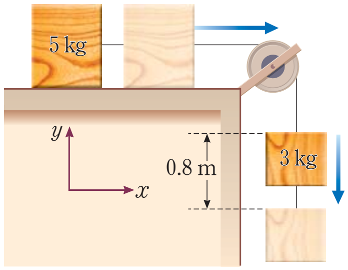
그림 I-43 역학적 에너지 보존의 예

이다. 이 식을 다시 쓰면

$$K_1+U_1=K_2+U_2=E=\text{일정}$$

이다. 여기에서 운동 에너지 K와 퍼텐셜 에너지 U의 합을 역학적 에너지 E라 하였으며, 이 값은 늘 일정하다는 의미이다. 이것이 역학적 에너지 보존 법칙이다.

물음 13. 오른쪽 그림과 같이 수평면에 질량이 5 kg인 물체가 도르래를 통하여 다른 한쪽으로 질량 3 kg인 물체와 연결되어 있다. 끈과 도르래의 질량은 무시하고, 이 물리계는 정지한 상태에서 $t=0$일 때 움직이기 시작한다고 하자. 3 kg인 물체가 0.8 m 내려왔을 때 5 kg인 물체의 속도는 얼마인가? 역학적 에너지 보존 법칙을 이용하여 문제를 해결하라. 단 공기 저항과 마찰력은 무시한다.



과학사

운동 에너지와 에너지의 전환



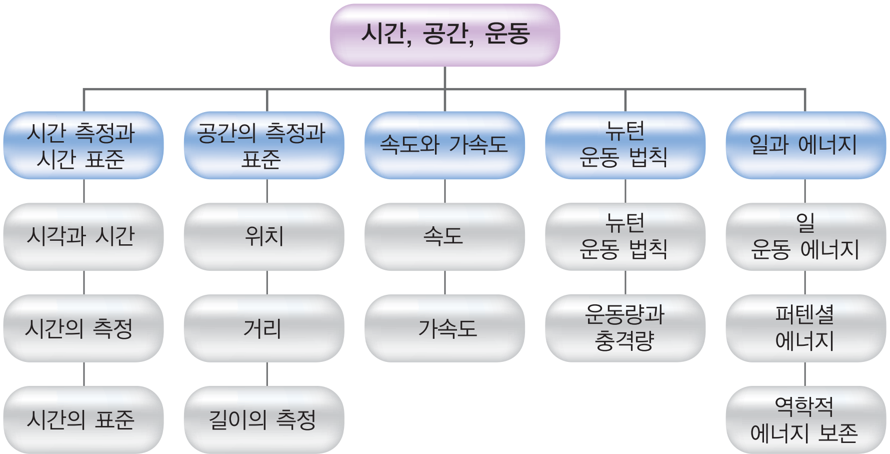
탈레스 시대의 철학자들은 모든 것은 보존된다고 하였다. 그러나 당시에는 이것을 오늘날 알고 있는 에너지 보존과 같은 것이라고 할 특별한 까닭은 없었다. 1638년에 갈릴레이는 여러 상황을 분석한 것을 발표했는데, 그중에는 널리 알려진 정지 진자를 포함하고 있었다. 그것은 퍼텐셜 에너지를 운동 에너지로, 또는 그 반대로 전환할 수 있는 장치이었다. 라이프니츠는 1676~1689년 동안에 운동과 관련된 에너지를 수학식으로 만들었다. 그는 물체의 질량이 m_i, 속도가 v_i인 많은 역학계에서 $\Sigma m_i v_i^2$에 해당하는 양이 보존됨을 알았다. 그는 이것을 '활력', 즉 그 '계의 살아 있는 힘'이라 불렀다. 이 원리는 마찰이 없는 상황에서 운동 에너지의 대략적인 보존을 정확하게 나타낸 것이다.

존 플에이페어(John Playfair)는 운동 에너지는 보존되지 않는다고 하였다. 이것은 현대적 해석과 일치하나 18, 19세기에는 잃어버린 에너지가 어디에 있는지 잘 알지 못하였던 때였다. 사람들은 마찰이 있는 운동에서 발생하는 열이 다른 형태의 활력일 것이라고 의심하였다. 1783년에 라부아지에와 라플라스는 활력 이론과 열소(caloric) 이론이라는 두 상반된 이론을 공표하기도 하였다. 럼포드(Count Rumford)는 1798년에 역학적 운동이 열로 전환될 수 있음을 알았으며, 이것은 예측 가능함을 발표하였다. 활력은 오늘날 에너지로 알려져 있는데, 1807년에 영(Thomas Young)이 그 용어를 처음 사용하였다. 이후 코리올리(Gaspard-Gustave Coriolis)나 퐁슬레(Jean Victor Poncelet) 같은 학자는 1819~1839년 시기에 $\frac{1}{2}\Sigma m_i v_i^2$이 운동 에너지에 대한 정확한 값이라는 것을 알게 되었고, 일로 전환하는 데 있어서 아주 중요한 양이라는 것도 알게 되었다.

01 시간, 공간, 운동

중단원 마무리

한눈에 보기



되짚어 보기

- 힘은 물체의 모양을 변화시키거나, 정지한 물체를 움직이게 하거나 움직이는 물체를 멈추게 하고, 움직이는 물체의 방향이나 빠르기를 변화시키는 물리량을 말한다.
- 뉴턴 운동 제 1 법칙 : 물체에 알짜힘이 작용하지 않는 한 물체는 정지 상태나 일정한 속도로 움직이는 그 상태를 유지한다.
- 뉴턴 운동 제 2 법칙 : 물체에 힘이 작용하면, 알짜힘의 방향으로 그 물체가 가속하고 그 물체의 가속도는 알짜힘에 비례한다.
- 뉴턴 운동 제 3 법칙 : 어떤 물체가 다른 물체에 힘을 가하면 그 다른 물체도 같은 크기면서 방향이 반대인 힘으로 그 물체에 가한다.
- 물체에 가해진 충격량은 물체의 운동량 변화와 같다.
- 일은 물체에 힘을 가하여 이동시켰을 때 힘의 방향으로 이동한 거리와 알짜힘의 곱이다.
- 지표면을 기준으로 중력 퍼텐셜 에너지는 물체의 무게와 지표면으로 부터 높이의 곱이다.
- 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지는 서로 전환되며, 그 합은 일정하다. 이것을 역학적 에너지 보존 법칙이라고 한다.



| 주 요 용 어 |

시각, 시간
원자 시계
기준 좌표계
삼각 측량법
입체 화법
평균 속도
순간 속도
상대 속도
가속도
등가속도 운동
중력
수직 항력
마찰력
뉴턴 운동 법칙
운동량
운동량 보존 법칙
충격량
일
운동 에너지
퍼텐셜 에너지
에너지 보존

확인하기

1 시각과 시간의 차이를 구별해 보자.

2 세계시는 경도 15°(도)마다 1시간씩 차이가 난다. 왜 그런가?

3 우리가 사는 시공간은 몇 차원인가? 어떻게 해서 그런가?

4 구면 위의 모든 점을 하나의 평면 위에 모두 옮길 수 있는가? 만일 그렇지 않다면 그 까닭은 무엇인가?

5 속도와 속력의 차이는 무엇인지 설명해 보자.

6 속도와 가속도의 단위를 비교하고 다른 점을 설명해 보자.

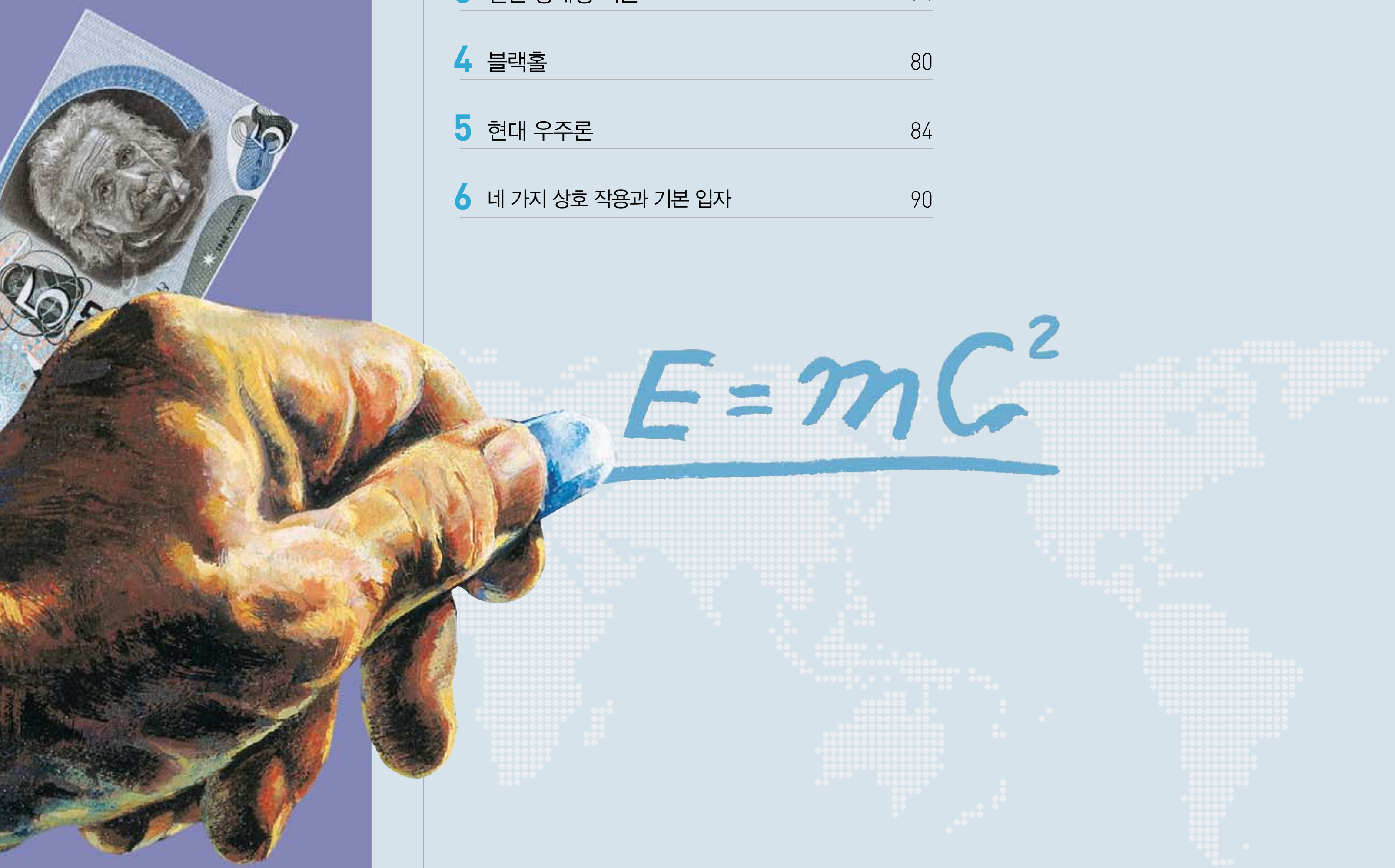
7 관성 법칙은 뉴턴 운동 제2법칙의 특별한 경우이다. 그 까닭을 설명해 보자.

8 두 물체가 충돌할 때에 충격을 줄일 수 있는 가능한 방법을 말해 보자.

9 힘과 일의 일상생활에서의 의미와 물리학에서의 의미를 비교해 보자.

10 탄성 퍼텐셜 에너지와 운동 에너지의 합을 이용하여 용수철의 경우에도 역학적 에너지가 보존되는 것을 설명해 보자.

2 시공간의 새로운 이해







아인슈타인이 상대성 이론을 내놓기 전까지는 뉴턴과 맥스웰의 물리학적인 방법이 자연을 해석하는 방법이었다. 특히 시간에 관해서는 아무도 이를 분석하려는 시도를 하지 않았으며, 시간을 신성불가침의 절대적인 양으로서 다루었다.

아인슈타인은 우리가 알고 있던 시간, 공간의 개념을 다른 시각에서 바라보고 새롭게 해석하였다. 그는 어떻게 시간과 공간을 이해하였으며, 그에 따라 나타난 새로운 현상들을 알고 이해하게 되었는지 살펴보자.

생각 열기

과거에 우주가 어떻게 생겼다고 이해를 했으며, 시공간과는 어떤 관계라고 이해하였나? 또 지금은 이 둘 사이에는 어떤 관계라고 이해하고 있나?



독일 포츠담 천체 물리학 연구소



1 케플러 법칙

학습 목표

1. 행성의 운동에 대한 케플러 법칙을 이해한다.
2. 뉴턴의 중력 법칙을 이해하고 응용할 수 있다.
3. 뉴턴의 법칙으로 케플러 법칙을 설명할 수 있다.

지구가 중심이고 모든 천체가 지구의 둘레를 따라 돈다는 천동설에서 태양을 중심으로 행성들이 돈다는 지동설로 우주관이 바뀔 때까지 많은 시간이 걸렸다. 르네상스 이후에 과학계에서도 많은 변화가 있었는데, 그 중 하나가 바로 지동설의 등장이었다.

1. 행성의 운동에 대한 옛날 사람들의 이해

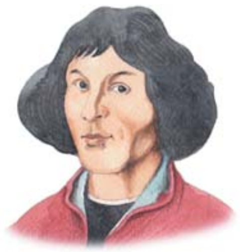
옛날 사람들은 우주의 중심은 지구이며, 태양과 달을 포함한 다른 모든 천체들은 지구를 중심으로 회전한다는 천동설을 믿고 있었다. 이를 체계화한 사람은 프톨레마이오스이었다. 그는 플라톤이나 아리스토텔레스의 영향을 받아 기하학적으로 완전한 공 모양의 우주를 생각하였으며, 그 중심에는 지구가 있다고 믿었다. 그러나 행성이나 별들의 운동을 정확하게 기술하기가 어려워서 여러 번 고쳐 만든 이론으로 천동설을 유지하였다. 이러한 이론이 거의 1400년 간 유지되다가 코페르니쿠스가 태양이 중심이고, 지구를 포함한 주위의 행성들이 태양 주위를 돈다고 하는 지동설을 내놓아 과학에서 새로운 혁명의 싹이 트게 되었다.

한편, 티코 브라헤는 많은 데이터를 관측한 상태에서 절충 모형을 제기하였지만 별로 인정받지 못했다. 이 데이터를 이용한 케플러는 천체의 운동이 기하학적으로 완벽한 원이라는 그동안의 기본 개념을 깨뜨리고 행성들이 타원 운동을 한다는 놀라운 이론을 내세웠다. 그는 세 가지 법칙으로 행성들의 운동을 기술하였는데 순전히 데이터만 해석한 것으로 지금도 놀라울 만큼 정확한 법칙을 만든 것은 거의 기적에 가까웠다.



프톨레마이오스(Ptolemaeos, C.; ?~?)

고대 그리스의 천문학자. 지리학자. 2세기 중엽의 사람으로 천동설에 근거를 둔 수리 천문서 '알마케스트'를 저술하였다.



코페르니쿠스(Copernicus, N.; 1473~1543)

폴란드의 천문학자. 육안으로 천체를 관측하여 지동설을 제창하였다. 저서에 "천체의 회전에 관하여"가 있다.



티코 브라헤(Tycho, Brahe; 1546~1601)

덴마크의 천문학자. 주로 행성의 위치 관측에 전념하여, 망원경이 개발되기 이전 시대에 가장 뛰어난 천체 관측 자료를 남겼다.

연구 10. 천상열차분야지도는 조선 초기부터 제작·보급된 한국의 천문도이다. 가장 오래된 것은 태조 석각본으로 가로 122.8 cm, 세로 200.9 cm 크기의 흑요석에 새겨졌다. 이 작품은 1687년에 석각으로 제작된 것을 종이에 필사한 것이다. 이처럼 우리나라에서도 행성의 운동을 기록하였다. 그 밖에 옛날 우리나라에서는 행성의 운동을 어떻게 해석하였는지 자료를 찾아보자.



2. 케플러 법칙

케플러는 티코 브라헤의 천체 관측 결과를 분석하여 세 법칙 중에서 두 법칙을 먼저 1609년에 발표하였다. 이후 1619년에 가서야 세 번째 법칙을 발표하였다.

그 후 거의 1세기 후에야 뉴턴이 그가 제안한 물체의 운동 법칙과 중력의 법칙으로 적절한 조건만 주어지면 케플러의 법칙과 정확히 동일한 관계식이 유도됨을 알게 되었다.

케플러 법칙은 태양과 하나의 행성 사이에만 관련된 법칙이므로 근사치에 가까우며, 실제로는 다른 행성의 영향으로 행성의 운동이 약간씩 틀어진다.

케플러의 행성 운동에 대한 법칙을 정리하면 다음과 같다.



케플러(Kepler, J.; 1571~1630)
독일의 천문학자. 티코 브라헤의 자료를 분석하여 케플러 법칙을 발견하였다.

> 제 1법칙: 모든 행성은 태양을 초점으로 하는 타원 궤도 운동을 한다.

제1법칙은 케플러 법칙에서 가장 핵심이며 원운동으로 설명되었던 기존의 천체의 움직임을 새롭게 바꾼 것이다. 그림 Ⅰ-44와 같이 행성이 평면 타원 운동임을 설명하고 있다. 타원에는 초점이 두 개 있는데 태양은 타원의 중심이 아니고 한 초점에 있다. 따라서 행성의 운동은 태양과의 거리가 일정한 것이 아니라 가까울 때도 있고 멀 때도 있는데 가장 가까울 때를 **근일점**, 가장 멀 때를 **원일점**이라고 한다. 타원에는 두 종류의 반지름이 있는데 그 중 긴 것은 긴반지름, 짧은 것을 짧은 반지름이라고 한다. 첫 번째 법칙이 의미하는 바는 매우 크다. 그때까지 천체의 운동은 가장 조화스런 원운동이어야 한다고 믿고 있었던 시대 상황에서 이를 깨뜨리고 천체가 타원 운동을 한다고 했던 그의 생각은 획기적인 발상이었다.

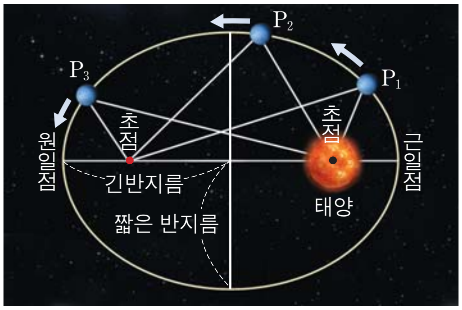


그림 Ⅰ-44 케플러 제 1 법칙: 초점에서 타원까지 거리를 합친 것은 일정하다.

> 제2법칙: 행성이 타원 궤도를 돌면서 일정한 시간 동안 태양과 잇는 선이 쓸고 간 부채꼴의 면적은 항상 같다.

이것은 면적 속도가 일정하다는 의미이다. 그림 Ⅰ-45와 같이 일정한 시간 동안 행성이 궤도를 지나면서 만든 부채꼴의 면적이 색칠이 되어 있는데 이 세 면적이 같다는 것이다. 이것은 행성이 어디에 있든지 같은 시간 동안 지나가면서 만든 면적은 같다는 의미이다.

케플러는 자신의 스승 티코 브라헤가 죽은 후 화성에 관한 그의 관측 자료를 얻게 되었다. 티코 브라헤의 관측 결과에 의하면 화성의 궤도는 타원 모양이었고 공전 속도는 일정하지 않았다. 태양 가까이 가면 속도가 빨라지고 태양에서 멀어지면 속도는 느려졌다. 만약 행성이 긴 고무줄

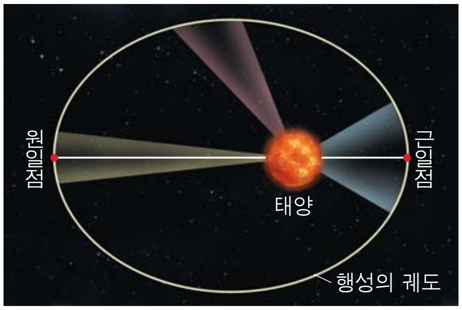


그림 Ⅰ-45 케플레 제 2 법칙

로 태양에 연결되어 있다면 고무줄이 타원 내의 모든 영역을 쓸고 갈 것이다. 이때 행성이 태양 가까이 가서 속도가 빨라지면 고무줄이 가로지르는 영역은 넓은 부채꼴이 될 것이고 행성이 태양에서 멀어져 느리게 움직이면 좁은 부채꼴이 되어 같은 시간 동안 같은 면적이 된다.

> 제 3법칙: 행성의 타원 궤도의 긴반지름의 세제곱과 주기의 제곱은 서로 비례한다.

이것을 **조화 법칙**이라고 한다. 이것은 복잡한 수식을 필요로 하지만 행성의 운동에 대해 해석한 것으로 케플러의 깊은 통찰력을 보여 준다.

구심력

원운동은 일반적으로 가속도 운동이며, 그 가속도는 원의 중심을 향하므로 구심 가속도라고 한다. 원의 반지름이 r, 원의 접선 방향의 속도가 v일 때 구심 가속도는 $\frac{v^2}{r}$이다. 이때 뉴턴의 운동 법칙은 $F=ma=\frac{mv^2}{r}$이다.

조화 법칙을 확인하기 위해서 타원 운동을 하는 행성의 운동이 원운동에 가깝다고 취급한다. 질량이 m인 행성이 질량이 M인 태양 주위를 원운동을 한다고 가정하면 원운동을 하도록 하는 힘은 행성과 태양 사이에 작용하는 중력이다.

$$\frac{mv^2}{r}=\frac{GMm}{r^2}$$

따라서 속도의 제곱은 $v^2=\frac{GM}{r}$이다. 그런데 원을 한 바퀴 도는 데 걸리는 시간이 한 주기이므로 주기는 $T=\frac{2\pi r}{v}$이다. 여기에서 양변을 제곱하고 v^2에 대한 식을 대입하면

$$T^2=\frac{4\pi^2}{GM}r^3$$

을 얻게 된다. 즉 주기의 제곱과 반지름의 세제곱은 서로 비례함을 알 수 있다. 원에서 반지름은 타원의 경우 긴 반지름에 해당한다.



물음 14. 지구는 태양으로부터 1 AU(1억 5천만 km) 떨어져 있으며 1년에 1번 공전한다. 만일 태양으로부터 4 AU 떨어져 있는 행성이 있다면 이 행성은 1번 공전하는 데 몇 년이 걸릴까?

연구 11. 천문 관측 관련 연구소의 홈페이지 등 인터넷 자료를 이용하여 행성의 관측자료를 분석하고, 케플러 법칙을 확인해 보자.

3. 뉴턴 중력 법칙(만유인력 법칙)

케플러 법칙은 나중에 뉴턴에 의해 발표된 운동 법칙 및 중력 법칙과 일관되게 일치함을 알 수 있다. 이로써 케플러가 제기한 세 법칙은 이론적으로 검증 받은 이론이 되었으며, 오늘날에도 적용되는 이론이다.

기본적으로 태양과 행성 사이에는 중력 법칙이 적용되는데, 이것을 만유인력 법칙이라고도 한다. 그림 Ⅰ-46과 같이 질량이 M인 태양과 질량이 m인 행성 사이의 거리를 r이라 하면 뉴턴이 제기한 두 물체 사이에 적용되는 중력 법칙은

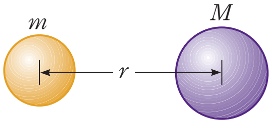


그림 Ⅰ-46 중력 법칙

$$F = G\frac{Mm}{r^2}$$

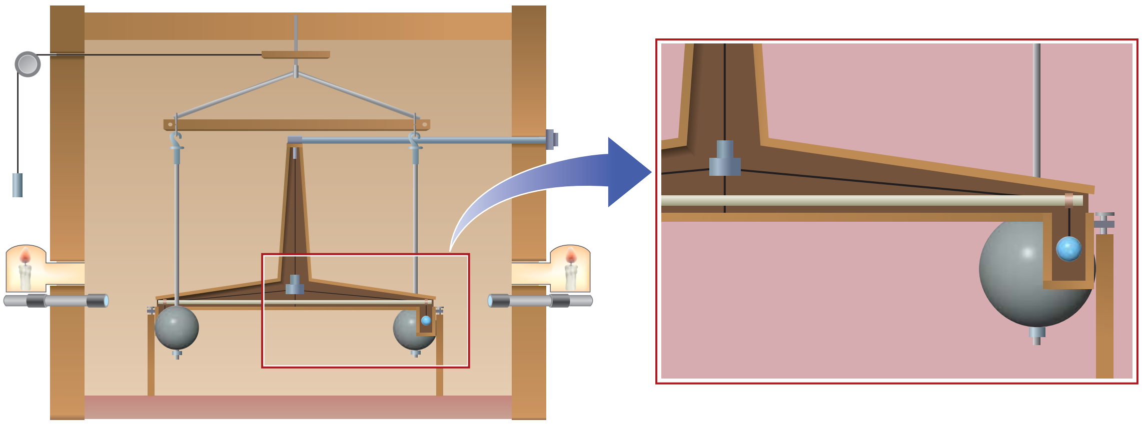
이다. 여기에서 F는 두 물체 사이에 작용하는 힘이고 G는 중력 상수 또는 만유인력 상수라 하는데, $6.7\times10^{-11}\ \mathrm{m^3\cdot kg^{-1}\cdot s^{-2}}$ 이다. G는 그 크기가 아주 작아서 질량이 작은 물체 사이에 작용하는 힘은 무시할 정도로 작지만 질량이 큰 천체 사이에서는 충분히 고려할 만한 힘이다. 뉴턴은 이 법칙이 지구상에서의 물체 사이나 천체 사이에서 작용함을 알았다. 또한 물체가 서로 떨어져 있어도 힘이 작용한다. 이 법칙은 뉴턴이 중력에 대해 처음으로 해석한 법칙이었으며, 아인슈타인이 1916년에 일반 상대성 이론을 발표할 때까지 중력을 가장 잘 설명한 법칙으로 남아 있었다.

과학사

중력 상수 측정 실험

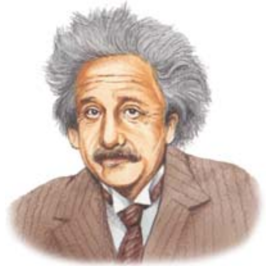
1797년부터 1798년까지 영국의 과학자 캐번디시(Cavendish, H.)에 의해 수행된 캐번디시 실험은 실험실에서 물체 사이의 중력, 중력 상수, 지구의 질량을 측정한 최초의 실험이었다. 사실은 캐번디시보다 먼저 미첼(Michell, J.)이라는 과학자가 1783년 이전에 지구의 밀도를 측정하기 위해 비틀림 저울을 만들었다. 이후 미셸이 그 일을 끝내지 못하고 1793년에 죽자 캐번디시는 그 장치를 다시 만들고, 미셸이 처음 하려 했던 계획에 근접하는 데 노력하였다. 그는 그 장치로 여러 가지를 측정하였으며, 그 결과는 1798년에 왕립 철학회보에 보고되었다.

그 장치는 6피트(1.8 m) 길이의 나무 막대를 줄에 매달고, 양 끝에 지름이 2인치(51 mm)이고, 질량이 1.61파운드(0.73 kg)인 납으로 만든 공 두 개를 매단다. 지름 12인치(300 mm), 질량이 348파운드(158 kg)인 납 공을 작은 공 가까이에 9인치(230 mm) 정도로 접근시켜 따로 매단다. 실험은 작은 공과 큰 공 사이에 작용하는 약한 중력을 측정하는 것이었다.



연구 12. 캐번디시 실험에서 큰 공과 작은 공 사이에 작용하는 중력을 계산해 보자. 이 중력의 크기는 지구와 달 사이 중력의 몇 배인가?





아인슈타인(Einstein, A.; 1879～1955)

독일 태생의 미국 이론 물리학자. '특수 상대성 원리', '일반 상대성 원리', '광양자설', 브라운 운동' 등을 발표하였다. 1921년에 노벨 물리학상을 받았다.

2 특수 상대성 이론

학습 목표

1. 특수 상대성 이론이 나오게 된 배경을 안다.
2. 특수 상대성 이론의 기본 가설을 이해한다.
3. 특수 상대성 이론의 현상과 관련된 관측 및 실험의 예를 안다.

특수 상대성 이론은 1905년 아인슈타인에 의해 발표된 시간과 공간에 대한 이론이다. 이것은 19세기 후반의 빛과 전자기학을 포함하는 물리학에서 이론과 실험에 대한 문제를 해결하고자 한 것이다.

당시의 문제 중 하나는 빛과 같은 전자기파를 전파시킬 수 있는 매질인 '에테르'의 존재 여부였다. 1887년에 마이컬슨과 몰리가 에테르의 존재를 확인하기 위하여 지구의 운동에 대한 빛의 상대 속도를 측정하려고 하였지만 실패한 것이 그 예이다.

1. 마이컬슨 · 몰리 실험

19세기의 물리학에서는 수면파 또는 음파 등이 진행하기 위해서는 매질이 필요하듯, 빛이 진행하려면 '에테르' 라는 매질이 필요하다고 가정하였다. 빛은 진공 상태의 공간을 진행할 수 있으므로 진공 상태에는 빛의 매질이 포함되어 있다고 생각하였다. 그러나 이것은 볼 수도 없고, 만질 수도 없으며, 냄새도 없는 존재로 가정되었다.

에테르를 우주 공간 속에서 잔잔하게 정지해 있다고 가정하면 에테르 속을 행성들이 움직인다고 생각할 수 있다. 이것은 마치 잔잔한 수면 위로 배가 움직이는 것과 같다. 이때 배 위에서 보면, 배는 정지해 있고 물이 뒤로 흘러가는 것으로 보일 것이다. 우주 공간 속에 정지해 있는 에테르 속을 움직일 때 지구 위에 있는 사람이 보면, 지구는 정지해 있고 상대적으로 에테르가 에테르 바람으로 뒤로 흘러가는 것으로 보일 것이다. 빛은 에테르를 통해 전달되는 파동이므로 에테르가 움직이면, 빛의 전달에 영향을 미칠 것이다. 마치 물이 흐를 때 물결파가 진행하는 상대 속도가 물이 흐르는 방향으로는 커지고, 물이 흐르는 반대 방향으로는 작아지는 것과 같다. 이때 만일 에테르 바람의 방향과 같은 방향으로 빛을 보내면 지구 위에 있는 관측자는 광속 c(30만 km/s)보다 빠르게 관찰할 것이고, 반대로 빛을 보내면 에테르와 빛의 진행 방향이 반대이므로 빛의 속도가 c보다 느리게 관찰할 것이다.

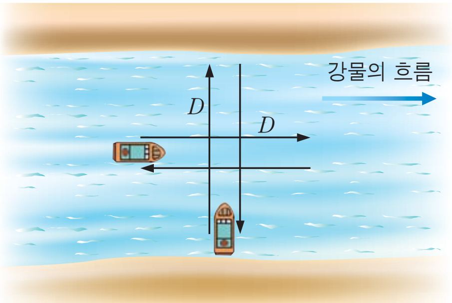


그림 Ⅰ-47 흐르는 강에서 배의 이동: 배로 흐르는 강물을 따라 왕복하는 경우와 같은 거리를 수직으로 왕복하는 경우 걸리는 시간이 다르다.

이와 같은 실험을 한 사람이 마이컬슨과 몰리이다. 즉, 에테르는 우주 공간에 정지해 있고, 지구가 그 속을 헤쳐 나가면 빛의 속도가 달라질 것이라 가정하고 실험하였다. 그러나 실험 결과 빛의 속도에 아무런 차이가 없었다. 즉, 빛이 진행할 때 에테르의 바람 효과를 볼 수 없었다.

결국 아인슈타인은 에테르를 포기하였다. 그러한 복잡한 에테르의 운동을 가정하는 것은 매우 불편하다. 또, 에테르의 운동이 하필이면 지구의 운동과 같으란 법이 어디 있는가? 즉, 에테르란 없고, 빛은 분명히 파동이지만 매개체가 필요 없이 빈 공간에서 전달된다고 했다. 게다가 빛의 속도는 어느 관측자에게나 그들의 운동에 관계없이 항상 같음을 말해주는 것으로 그들의 실험 결과를 해석하였다.

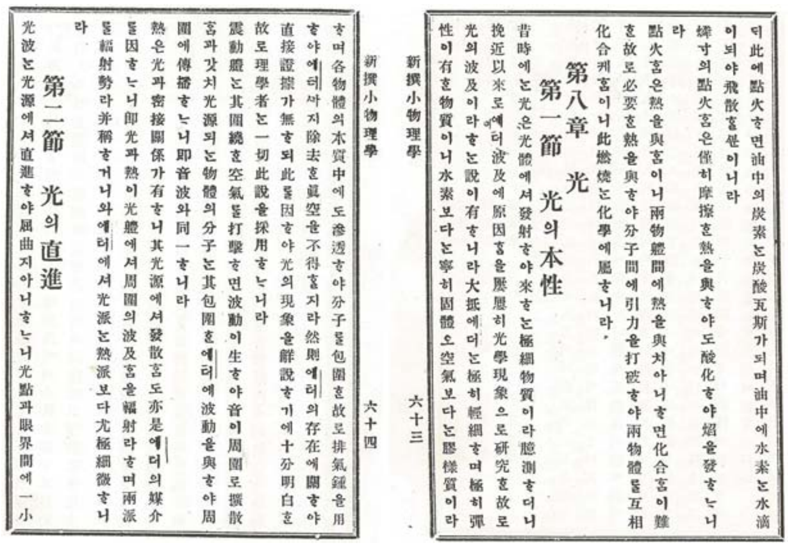
과학사

구한말 대한제국 교과서에 소개된 에테르



구한말 광무 10년(서기 1906년) 6월 30일 국민교육회에서 간행된 물리학 책인 “신찬 소물리학(新撰小物理學)”에 에테르에 관한 부분이 소개되어 있다.

63쪽의 ‘빛의 본성’ 부분에 “빛은 광체에서 발사하여 오는 극세 물질이라 생각되어 왔으나 최근에는 에테르를 통하여 전파되는 광학 현상으로 연구되기 때문에 빛이 파동이라 하는 이론이 있다. 그것은 아주 작고 큰 탄성이 있는 물질이며, 수소보다는 단단하고 공기보다는 끈적거려 각 물체의 본질 중에도 침투할 수 있다. 분자를 둘러싸고 있으며, 진공 펌프를 이용하여도 에테르가 없는 진공 상태를 만들 수 없다. 에테르의 존재에 관한 직접적인 증거는 없으나 빛의 현상을 분명하게 설명할 수 있으므로 물리학자들은 이 이론을 받아들이고 있다. 진동하는 물체가 공기를 때리면 파동이 생기고, 소리가 주위로 확산하는 것처럼 광원이 되는 물체의 분자는 이미 주위에 있는 에테르에 파동을 주어 주위에 전파하므로 음파와 같다.”라고 자세히 소개되어 있다. 물론 마이컬슨 · 몰리의 실험 결과가 알려지지 않았지만 나름대로 첨단 이론이 소개되고 있다.



新撰小物理學 六十三

되此에點火ᄒᆞ면油中의炭素ᄂᆞᆫ炭酸瓦斯가되며油中에水素ᄂᆞᆫ水滴이되야飛散ᄒᆞᆯ뿐이니라

燐寸의點火ᄒᆞᆷ은僅히摩擦ᄒᆞᆫ熱을與ᄒᆞ야도酸化ᄒᆞ야焰을發ᄒᆞᄂᆞ니라

點火ᄒᆞᆷ은熱을與ᄒᆞᆷ이니兩物體間에熱을與치아니ᄒᆞ면化合ᄒᆞᆷ이難ᄒᆞᆫ故로必要ᄒᆞᆫ熱을與ᄒᆞ야分子間에引力을打破ᄒᆞ야兩物體ᄅᆞᆯ互相化合케ᄒᆞᆷ이니此燃燒ᄂᆞᆫ化學에屬ᄒᆞᄂᆞ니라.

第八章 光

第一節 光의本性

昔時에ᄂᆞᆫ光은光體에셔發射ᄒᆞ야來ᄒᆞᄂᆞᆫ極細物質이라臆測ᄒᆞ더니挽近以來로에더波及에原因ᄒᆞᆷ을歷歷히光學現象으로硏究ᄒᆞᆫ故로光의波及이라ᄒᆞᄂᆞᆫ說이有ᄒᆞ니라大抵에더ᄂᆞᆫ極히輕細ᄒᆞ며極히彈性이有ᄒᆞᆫ物質이니水素보다ᄂᆞᆫ寧히固體오空氣보다ᄂᆞᆫ膠樣質이라

新撰小物理學 六十四

ᄒᆞ며各物體의本質中에도滲透ᄒᆞ야分子ᄅᆞᆯ包圍ᄒᆞᆫ故로排氣鍾을用ᄒᆞ야에더ᄭᆞ지除去ᄒᆞᆫ眞空을不得ᄒᆞᆯ지라然則에더의存在에關ᄒᆞ야直接證據가無ᄒᆞ되此ᄅᆞᆯ因ᄒᆞ야光의現象을觧說ᄒᆞ기에十分明白ᄒᆞᆫ故로理學者ᄂᆞᆫ一切此說을採用ᄒᆞᄂᆞ니라

震動體ᄂᆞᆫ其圍繞ᄒᆞᆫ空氣ᄅᆞᆯ打擊ᄒᆞ면波動이生ᄒᆞ야音이周圍로擴散ᄒᆞᆷ과갓치光源되ᄂᆞᆫ物體의分子ᄂᆞᆫ其包圍ᄒᆞᆫ에더에波動을與ᄒᆞ야周圍에傳播ᄒᆞᄂᆞ니卽音波와同一ᄒᆞ니라

熱은光과密接關係가有ᄒᆞ니其光源에셔發散ᄒᆞᆷ도亦是에더의媒介ᄅᆞᆯ因ᄒᆞᄂᆞ니卽光과熱이光體에셔周圍의波及ᄒᆞᆷ을輻射라ᄒᆞ며兩派ᄅᆞᆯ輻射勢라并稱ᄒᆞ거니와에더에셔光派ᄂᆞᆫ熱派보다尤極細微ᄒᆞ니라

第二節 光의直進

光波ᄂᆞᆫ光源에셔直進ᄒᆞ야屈曲지아니ᄒᆞᄂᆞ니光點과眼界間에一小

2. 특수 상대성 이론의 가설

아인슈타인은 특수 상대성 이론을 설명하기 위하여 두 가설을 설정하였다. 특수 상대성 이론은 상대적으로 등속도 운동하는 두 관측자가 자연 현상을 관찰하는 상황에 대한 것이다.

- 가설 1 : 균일하게 움직이는 모든 좌표계에서는 모든 자연계의 법칙이 동일하다.
- 가설 2 : 광속은 광원이나 관측자의 운동에 관계없이 항상 같은 값으로 측정된다.

아인슈타인의 상대성 이론 가설은 그림 Ⅰ-48과 같이 두 관측자들이 각각 동일 사건을 관측할 때 그 결과를 비교하기 위한 것이다. 한 관측자(O)는 정지해 있고, 다른 관측자(O′)는 일정한 속도 v로 움직이고 있다.

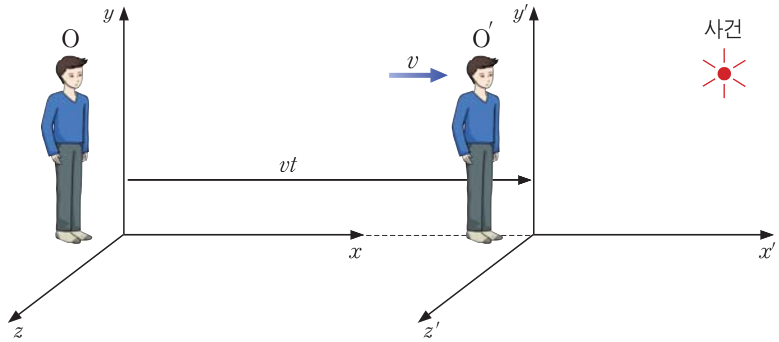


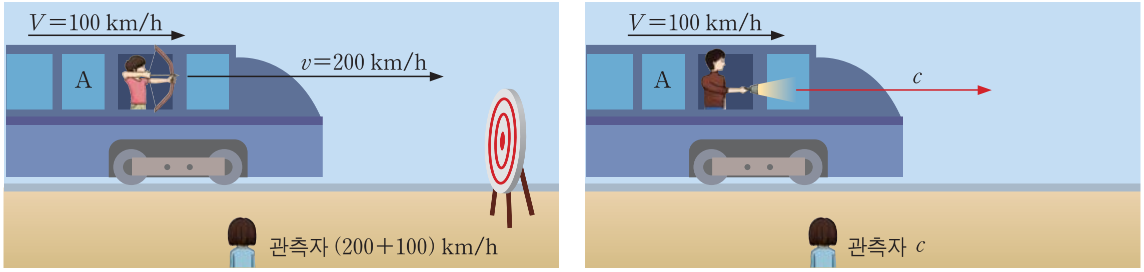
그림 Ⅰ-48 정지한 관측자 O와 이에 대해 v의 속도로 움직이는 관측자 O′. 각각 동일한 사건을 관측하고 있다.

첫 번째 가설은 상대성 원리라고 하는데, 뉴턴이나 갈릴레이도 상대 속도로 움직이는 두 관측자에 대해서 비슷한 가설을 세우고 있다. 서로 등속도인 상대 속도로 움직이는 두 좌표계의 경우 다른 물체의 속도를 측정하면 다른 값이 나오지만 가속도는 같은 값으로 측정하게 된다. 따라서 물체의 운동 법칙은 가속도에 관한 법칙이므로 두 관측자는 물체의 운동에 대한 법칙에 대해서 같은 법칙을 말하게 된다. 그런데 뉴턴이나 갈릴레이는 두 관측자에 대해서 시간은 변하지 않은 채 공간의 상대성만 고려하였지만 아인슈타인은 시간의 상대성까지 포함한 4차원 시공간에서 물리 법칙이 같음을 가설로 내세우고 있다. 따라서 상대성 이론에서 다루는 물리량은 4개의 성분을 가지게 된다. 아인슈타인은 두 가지 가설을 만족하는 이론을 만들기 위하여 로런츠의 도움을 받아 두 관측자가 관찰하는 제3의 물체의 4차원 좌표(시간, 공간의 위치) 사이의 관계를 나타내는 **로런츠 변환**으로 상대성 원리를 완성하였다.

로런츠 변환

서로 등속으로 운동하는 두 관찰자들이 물체의 운동을 각각 관측할 때 이들의 관측값들 사이에 대한 변환과 관련된 식을 로런츠 변환이라 한다.

두 번째 가설은 뉴턴 역학에서 제시하는 상대 속도의 개념과는 전혀 다르게 나타난다. 그림 Ⅰ-49의 (가)와 같이 일반적으로 V(100 km/h)의 속도로 달리는 기차 안에 있는 관측자가 v(200 km/h)의 속도로 던진 물체를 밖에서 관찰하는 관측자는



(가) (나)

그림 Ⅰ-49 기차 안과 밖에서 각각 물체와 빛을 내고 있다.

그 물체의 속도를 단순히 더하여 $V+v$(300 km/h)로 측정할 것이다. 그러나 그림 (나)와 같이 기차 안의 관측자가 레이저를 쏘았다면 그는 그 빛을 빛의 속도인 c라고 측정한다는 것이다. 그런데 기차 밖의 관측자도 그 빛의 속도가 $V+c$가 아닌 역시 c라고 측정한다는 것이다. 이것이 아인슈타인이 상대론을 만들기 위한 전제 조건으로 제시한 것이다.

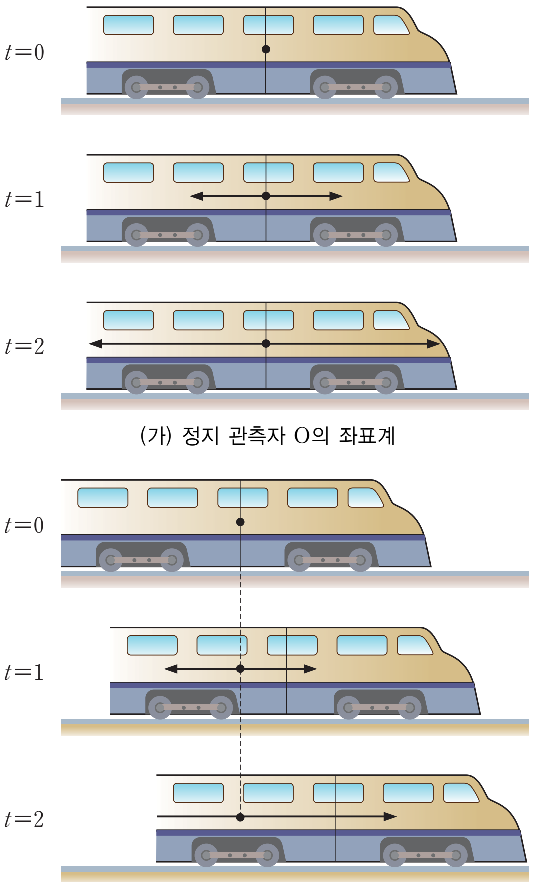
3. 특수 상대성 이론에서 나타나는 현상

아인슈타인의 특수 상대성 이론은 기존의 뉴턴 역학과는 여러 가지 면에서 다르게 나타난다. 이것은 아주 빠르게 움직이는 물체를 관찰하는 경우에 적용되는 물리학이라 할 수 있는데, 몇 가지 특이한 상황에 대해서 알고 그것이 의미하는 바를 이해하기로 하자.

동시성

특수 상대성 이론에서 가장 근본적으로 나타나는 현상은 동시성이 상대적이라는 것이다. 즉, 상대적으로 움직이는 두 관측자의 동시 사건이 다르다는 것이다.

그림 Ⅰ-50에서 기차가 오른쪽으로 움직이고 있으며 관측자 O는 기차 안에 가운데 있고 관측자 O′은 기차 밖에 있다. 그림 (가)처럼 O가 가운데 있으며 양쪽 벽은 같은 거리에 있다. 시각이 $t=0$일 때 양쪽 벽을 향하여 빛을 비춘다면 같은 시각($t=2$)에 각각 양쪽 벽에 도달할 것이다. 따라서 O는 양 끝에 동시에 도달한다고 관측할 것이다. 그림 (나)에서 O′은 기차의 양쪽 벽이 오른쪽으로 움직인다고 관측한다. 빛은 한가운데에서 비추기 시작했지만 빛의 속도는 일정하므로 왼쪽으로 비춘 빛이 먼저 벽에 도달하게 된다. 따라서 O가 양쪽 벽에 빛이 도달한 동시 사건은 O′에게는 동시 사건이 아니다.



(가) 정지 관측자 O의 좌표계

(나) 움직이는 관측자 O′의 좌표계

그림 Ⅰ-50 동시 사건

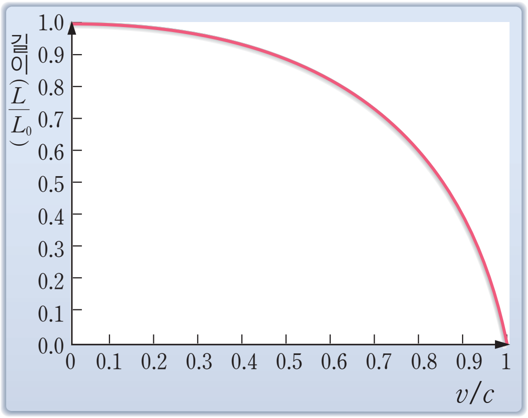


그림 Ⅰ-51 광속에 대비한 길이 수축

길이 수축

아인슈타인의 상대성 이론에 따르면 아주 빠르게 달리는 관측자를 정지한 관측자가 관찰할 때에 그 길이가 줄어 보인다는 것이다. 이 현상을 길이 수축이라고 한다.

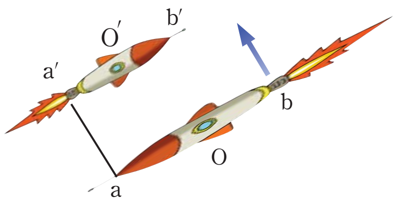
정지했을 때 길이가 L_0인 자를 가지고 자의 길이 방향으로 v의 속도로 움직일 때 이를 측정하는 정지 관측자에게는 그 길이가 줄어들어

$$L=L_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

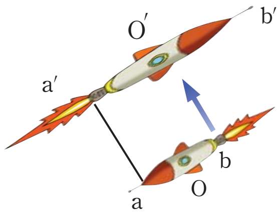
로 측정이 된다. 즉 움직이는 자의 길이가 수축되어 보인다. 이때 자와 같이 움직이는 사람이 잰 자의 길이 L_0를 고유 길이라 한다. 그림 Ⅰ-51은 관측자의 속도에 따른 자의 측정 길이를 나타낸 것으로, 관측자의 속도가 충분히 빨라지기 전까지는 거의 줄어들지 않다가 빛의 속도에 가까울수록 점차 줄어드는 비율이 커지고, 빛의 속도에 이르면 그 길이가 0이 된다.

예제 9

고유 길이가 같은 두 로켓이 반대 방향으로 같은 속력으로 달린다. 그림 (가)에서 a와 a′가 일치될 때 O가 b에서 총을 쏜다. O 좌표계에서는 O′의 길이가 줄어들어 맞지 않는다. 그림 (나)에서 보면 O′ 좌표계에서는 O의 길이가 줄어들어 맞는다. 정말 맞았을까?



(가)



(나)

해설 | 이것은 동시성에 관한 문제이다. 겉으로 보기에는 모순 같으나 그렇지 않다. 문제에서 O가 봤을 때 aa′이 일치될 때 b에서 총을 쏜다고 했다. 그러나 aa′이 일치하는 사건과 b에서 O가 총을 쏘는 사건이 O에게는 동시에 벌어진 것일지 몰라도 O′에게는 그것이 동시 사건이 아니다. 따라서 O가 관측하는 그림 (가)가 맞으며, O′이 관측한 그림 (나)는 틀리다.

답 맞지 않는다.

물음 15. 자와 나란한 방향으로 광속의 60%로 달리는 관측자가 본 자의 길이가 1 m일때, 정지한 관측자는 그 자를 얼마의 길이로 측정할까?

시간 팽창

아주 빠르게 움직이는 사람의 시간을 정지한 사람이 측정할 때에는 그 시간이 늘어난다. 이 현상을 **시간 팽창** 현상이라고 한다.

예를 들어 아주 빠른 속도로 움직이는 사람이 t_0마다 신호를 보낸다고 하자. 그러면 정지한 관측자에게는 그 신호 주기가 t로 측정이 되는데, 그 관계식은 다음과 같다.

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

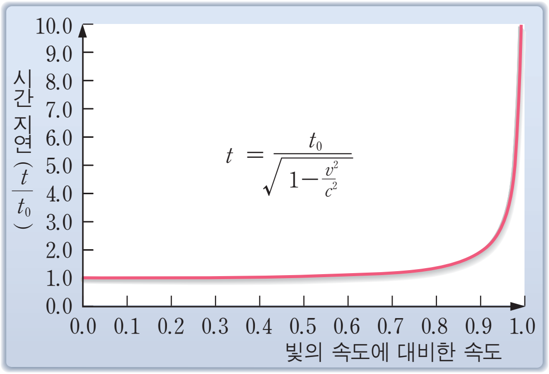


그림 Ⅰ-52 빛의 속도에 대비한 시간 지연

즉 정지한 사람이 볼 때 움직이는 사람의 시간이 팽창하는 것으로 관측된다. 이때 t_0는 움직이는 사람이 자신의 시간을 측정한 것으로 **고유 시간**이라 한다.

이를 그래프로 나타내면 그림 Ⅰ-52와 같다. 이때 만일 속도가 점점 더 빛의 속도로 가까워지면 시간은 점점 늘어나게 된다. 이 현상은 그림 Ⅰ-53과 같다.

로켓 바닥의 광원에서 나온 빛이 천정의 거울에 반사되어 되돌아오는 과정을 나타낸 것이다. 그림 (가)는 로켓 안에 있는 관측자 O가 빛의 왕복 시간을 관측한 것이다. 그림 (나)에서는 로켓 밖에서 관측하는 관측자 O′이 이를 관측한 것이다. O′에게는 로켓이 오른쪽으로 v라는 속도로 움직인다. 그림에서 보듯이 O′에게는 그 빛이 더 먼 거리를 움직이게 되어 시간이 더 걸린다. 결국 움직이는 관측자 O′에게는 정지 관측자 O보다 시간이 팽창하게 된다.

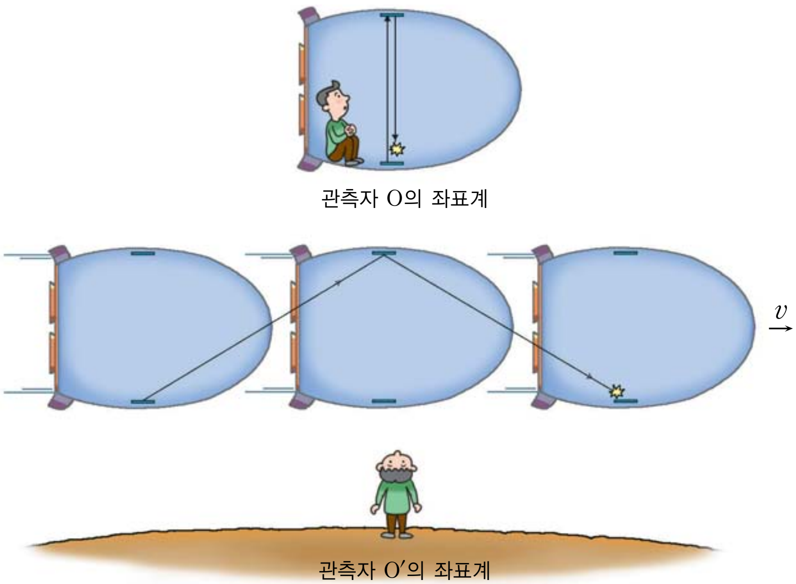


그림 Ⅰ-53 정지한 관측자(O)의 왕복 시간보다 움직이는 관측자(O′)의 왕복 시간이 더 긴 것으로 관측된다.

물음 16. 광속에 비해 80%로 달리는 관측자의 시계로 측정한 1초는 정지한 관측자가 측정하면 얼마의 시간으로 측정될까?

관측 사실의 증거

우주에는 태양을 비롯한 여러 천체로부터 우주선(cosmic ray)이 지구로 쏟아져 들어오고 있다.

물론 지구의 자기장이 우주선을 적절하게 막기도 하지만 소립자의 수명이 아주 짧기 때문에 다른 입자로 바뀌기도 한다. 뮤온은 수명이 아주 짧아서 지상에 도착하기 전에 다른 입자로 바뀌기 때문에 지표면에는 거의 없어야 한다. 그러나 실제로는 많은 뮤온이 지표면에서 발견된다. 이것은 지표면에서 볼 때에 빠르게 움직이는 뮤온의 시간이 느리게 가서 실제 수명보다 더 오래 남게 된다는 특수 상대성 이론과 일치하는 결과이다. 한편 뮤온의 입장에서는 자신의 여행 거리가 길이 수축으로 짧아지기 때문에 자신의 수명 내에 충분히 도달하는 것으로 해석할 수도 있다. 이와 같이 길이 수축과 시간 팽창은 관측자의 입장에 따라 다르게 해석할 수 있다. 그러나 이 모든 현상은 관측자나 물체의 속도가 거의 광속에 가까울 정도로 빠르게 움직이는 경우에야 그 효과가 두드러져 보이며, 단순히 우리가 현재 경험하는 수준의 빠르기에서는 결과가 전혀 달라져 보이지 않으며, 굳이 상대성 이론을 적용하지 않고 뉴턴 역학을 적용하더라도 아무 문제가 없다.

질량 · 에너지 동등성

특수 상대성 이론의 결과 중의 하나는 질량을 에너지로 바꿀 수 있다는 것이다. 일반적으로 질량은 관측자의 운동에 따라 점점 늘어나는 것으로 해석할 수 있다.

$$m=\frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

이때 m_0를 정지 질량이고 한다. 그런데 이것을 이용하여 질량을 에너지로 환산할 수 있는데, 그 값은 다음과 같다.

$$E=mc^2$$



최초의 원자폭탄 실험 1945년 7월 16일 미국 뉴멕시코 주

만일 입자가 움직이지 않더라도 에너지는 정지 질량에 광속의 제곱을 곱한 값과 같으므로 큰 에너지에 해당한다. 이것을 **정지 에너지**($E=m_0c^2$)라고 한다.

그러나 이처럼 물질을 에너지로 쉽게 바꿀 수 있으면 에너지 부족 문제가 저절로 해결될 수 있을 것 같지만 아쉽게도 그렇지 않다. 이러한 정지 에너지는 바로 핵반응에만 적용된다.

핵반응은 무거운 핵을 쪼개는 핵분열과 가벼운 핵을 합치는 핵융합이 있다. 핵반응 전후에 핵의 질량이 줄어드는 질량 결손이 발생하는데 바로 이 줄어드는 질량에

해당하는 만큼의 에너지가 발생한다.

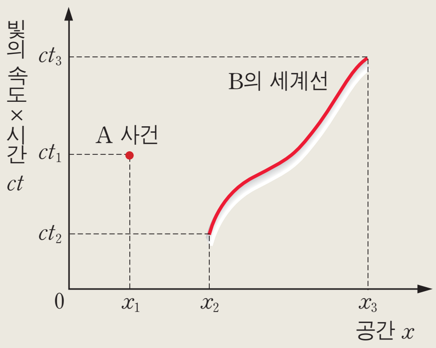
핵분열 때에 발생하는 에너지를 이용한 것이 원자력 발전이나 원자폭탄이다. 원자력 발전에서는 발전에 필요한 양만큼씩 상대적으로 천천히 반응시키는 것인 반면 원자폭탄은 동시에 핵분열을 일으켜 큰 피해를 준다. 반대로 핵융합 때에 발생하는 에너지에 해당하는 것이 바로 태양 같은 별에서 발생하는 빛과 열이며, 이를 활용하기 위한 연구가 세계 각국에서 활발하게 이루어지고 있다.

물음 17. 정지 질량이 1 g일 때 정지 에너지는 얼마인가?

한 걸음 **더**

4차원 시공간

우리는 3차원 공간과 1차원 시간의 공간, 즉 4차원 시공간에 살고 있다. 친구와 약속할 때에도 장소와 시각을 정해야 한다. 그러나 이 공간과 시간은 서로 다르며, 합쳐지기 어려운 점도 많았다. 예를 들면 공간에서는 우리가 임의로 어느 방향으로나 이동할 수 있으나 시간의 경우에는 한 방향으로만 움직일 수밖에 없는 특성이 있다. 그리고 시간은 절대적인 물리량으로 존재하며, 어느 관측자라도 그들의 운동에 관계없이 항상 같은 값이다.



시공간 그림에서 사건과 세계선

그러나 아인슈타인은 시간과 공간을 합쳐서 4차원 시공간이란 개념으로 생각하였다. 시간도 공간처럼 상대적인 양이며, 관찰자의 운동에 따라 다르게 측정되는 물리량으로 취급하였다. 따라서 시간과 공간 축을 포함한 4차원 시공간에서 물체의 운동을 다루고 분석하는 것이 좋다. 그러나 평면 종이에 표시하는 데에는 4차원 공간을 그리기 어려우므로 공간을 1차원이나 2차원을 축소하여 공간+시간을 2+1 차원이나 1+1 차원으로 그려 나타낸다.

시공간 그림이란 그림과 같이 가로축을 공간으로, 시간 축을 세로로 하여 그린 그림으로 보통 시공간을 1+1차원의 그림으로 2차원 평면에 그린 것이다. 세로축이 시간 축이지만 가로축의 공간축과 물리적인 차원을 일치시키기 위해 빛의 속도 c를 곱해 공간축과 같은 개념으로 이해한다.

시공간 그림에서 한 점은 사건이라고 한다. 시공간 그림에서 물체의 흔적을 세계선이라 부른다. 세계선은 공간에서 움직이는 흔적을 시간의 진행에 따른 과정을 나타낸 것이다.

그림에서 A 사건은 t_1이라는 시각에 x_1이라는 공간에서 벌어진 사건을 의미한다. B의 세계선은 t_2 시각의 공간에서 x_2에 있었던 B가 t_3의 시각에 x_3까지 움직였던 흔적을 나타낸 것이다. 이 그래프는 마치 시간−위치 그래프를 가로와 세로를 바꾼 것과도 같다. 다만 시간축에 빛의 속도를 곱하여 같은 길이 차원으로 바꾼 것이다.



3 일반 상대성 이론

학습 목표

1. 가속 좌표계와 관성력을 이해한다.
2. 등가 원리와 굽은 공간 개념을 이해한다.
3. 일반 상대성 이론을 뒷받침하는 실험과 관측 증거를 안다.

아인슈타인은 특수 상대성 이론을 발표하고 나서 10여 년 동안 이것을 일반화하려고 노력하였다. 특수 상대성 이론의 경우는 뉴턴의 중력 법칙과 상충되는 부분이 있었다. 그래서 아인슈타인은 특수 상대성 이론에서 해석이 가능한 새로운 중력 이론을 만들고자 하였다.

1. 가속 좌표계와 관성력



그림 Ⅰ-54 관성의 예

우리가 관성 법칙에 대한 예를 많이 드는 것은, 그림 Ⅰ-54와 같이 정지해 있던 버스가 급히 출발하는 경우이다. 그때 우리의 몸이 뒤로 쏠리게 된다. 정지하고 있던 우리의 몸이 현재의 상태를 유지하려고 하는 관성 법칙 때문이다. 그런데 우리의 몸만 가지고 생각할 때에는 아무 외력이 작용하지 않는데도 몸이 움직이게 되는데, 실제의 힘이 아닌 가상의 힘이 존재하여 몸을 뒤로 움직이게 하는 것으로도 생각할 수 있다. 이것을 **관성력**이라고 한다. 관성력은 가속하는 좌표계에 있는 물체가 좌표계의 가속 방향과 반대 방향으로 그 가속도와 물체의 질량을 곱한 크기의 물체에 작용하는 힘을 말한다.

탐구 11 실험 엘리베이터에서 몸무게 재기

과 정

1. 두 사람이 짝을 이루어 한 사람은 엘리베이터 안에 저울을 놓고 그 위에 올라가 있고, 다른 한 사람은 저울의 눈금을 기록하자.
2. 엘리베이터가 위로 움직이기 시작하는 경우, 엘리베이터가 일정하게 올라가는 경우, 엘리베이터가 일정하게 올라가다가 멈추는 경우 몸무게를 잰다.
3. 엘리베이터가 아래로 움직이기 시작하는 경우, 엘리베이터가 일정하게 내려가는 경우, 엘리베이터가 일정하게 내려가다가 멈추는 경우에 몸무게를 잰다.



정 리

1. 엘리베이터 안에서 저울의 눈금이 어떻게 달라지는지 관찰하여 이를 그래프로 그리자.
2. 엘리베이터 안의 저울의 눈금이 왜 다르게 나타나는지 설명해 보자.

과학과
생활

중력 가속도

4g, "양 어깨가 무겁고 숨쉬기가 힘들어진다. 조금 어지럽고 멍하다. 시야가 좁아지면서 온통 흑백으로 보이기 시작한다." 5g, "눈은 뜨고 있지만 앞이 시커멓다. 몸은 천근만근 무겁다. 피가 한쪽으로 쏠리는 것 같다." 6g, "몸을 가눌 수 없다. 금방이라도 정신을 잃을 것 같다. 온몸의 힘을 쥐어짜 겨우 버틴다."

중력 가속도 내성 훈련을 받은 사람들의 체험담이다. 1g는 지상에서 일반적으로 받는 중력 가속도의 크기이다. 놀이공원의 바이킹 등 놀이 기구는 2~2.5g 정도 된다고 한다. 가속 운동을 해서 관성력으로 힘을 받는 것이다. 자동차 경주의 운전자는 급하게 코너를 돌 때 5g까지 체험한다. 전투기 조종사는 초음속으로 날다 급선회할 때 최대 9g까지 버텨야 한다.

급상승하면 피가 아래로 쏠린다. 시야가 좁아지고 사물이 흑백으로 보이는 '그레이아웃'은 평균 4.1g에서, 아무것도 보이지 않는 '블랙아웃' 현상은 평균 4.7g에서 나타난다. 급하강 때는 거꾸로 피가 머리로 몰려 주위가 붉게 보이는 '레드아웃'이 된다. 그러다 못 견디면 'G-LOC(중력에 의한 의식 상실)' 상태에 빠진다. 전투기 추락 사고의 상당수가 이 때문이다. 자동차가 시속 50 km로 벽에 충돌할 때의 가속도는 30～40g, 시속 70～80 km에선 100g에 가깝다.

○○ 신문 2010년 9월



NASA 에임스 연구 센터의 20g의 중력 가속도 내성 훈련 장비

물음 18. 버스에 질량이 50 kg인 사람이 타고 있다. 이때 사람이 받는 관성력의 방향과 크기를 구하라.

(1) 버스가 10 m/s^{2}의 가속도로 출발할 때
(2) 버스가 100 m/s의 속도로 달릴 때
(3) 100 m/s의 속도로 달리던 버스의 운전사가 브레이크를 밟아 10초 후에 멈출 때

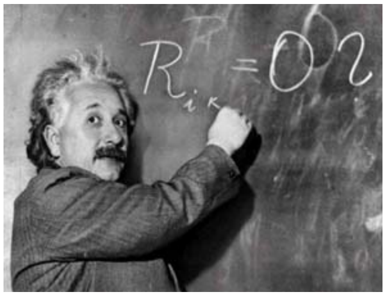


그림 Ⅰ-55 일반 상대성 이론을 강의하는 아인슈타인

2. 일반 상대성 이론의 기본 원리

일반 상대성 이론의 원리를 뒷받침하는 기본 가설을 살펴보자.

등가 원리

아인슈타인이 관심 두던 것은 가속하는 좌표계이다. 특수 상대성 이론에서는 관측자가 서로 일정한 상대 속도로 움직이는 경우로 제한하였던 것에 비해 중력을 다루려면 가속하는 좌표계를 고려할 수밖에 없었다. 그런데 그는 앞에서 논의한 가속하는 좌표계 내의 물체가 받는 관성력을 바로 중력 현상으로 해석해야 한다고 믿었다.

그림 Ⅰ-56과 같이 엘리베이터가 위로 가속하여 올라갈 때에 그 안에 있던 물체는 아래 방향으로 관성력을 받게 되는데, 이것을 바로 중력 현상으로 해석하자는 것이다.

등가 원리는 이처럼 가속하고 있는 좌표계에 있는 관측자가 관측하는 것과 중력장에서 관측하는 것을 서로 구별할 수 없다는 것을 말한다.

관성 질량과 중력 질량

- 관성 질량: 물체에 힘이 주어지면 주어진 힘의 크기와 그 힘에 의한 물체의 가속도의 비 값이다
- 중력 질량: 중력이 작용할 때 힘의 크기와 중력 가속도의 비 값이다.

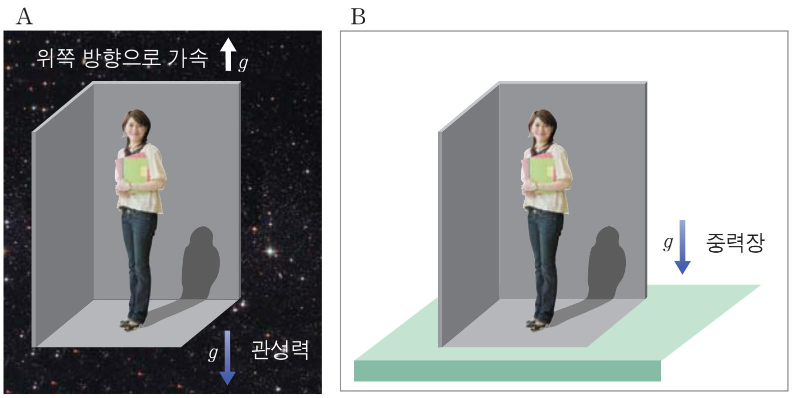


그림 Ⅰ-56 등가 원리

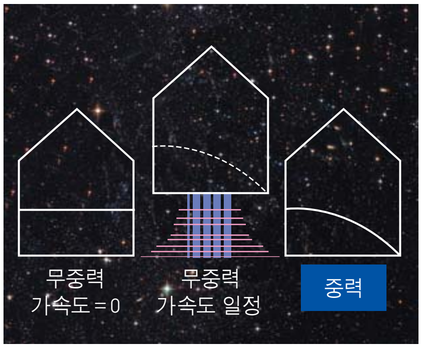


그림 Ⅰ-57 가속하는 좌표계와 중력을 받는 좌표계에서 빛의 궤적

관성력을 받는 물체를 중력을 받는 물체로 해석할 수도 있다는 의미는 관성 질량과 중력 질량이 같다는 의미이기도 한다.

뉴턴에 따르면 빛은 직진하고, 중력의 영향을 받지 않는다고 생각 했으나 아인슈타인은 가속계와 중력계의 경우 모두 빛이 휘어지는 것을 이해하게 된 것이다.

그림 Ⅰ-57은 빛이 로켓의 왼쪽에서 들어와서 로켓을 가로질러 오른쪽으로 나가는 상황을 중력이 작용하지 않으면서 가속하지 않는 경우, 중력이 작용하지 않으면서 가속하는 좌표계, 작용하는 경우의 세 가지로 나타낸 것이다. 중력이 작용하지 않거나 가속하지 않을 때에는 빛의 궤적이 휘어지지 않고 직진한다. 중력이 작용하지 않은 상태에서 가속하거나 중력이 작용한다면 빛이 굽어진다. 이는 가속하는 경우와 중력을 받는 경우가 같은 결과인 것을 알 수 있다.

중력에 의한 공간의 휨

아인슈타인이 중력을 새롭게 생각한 것 중의 하나는 중력을 힘으로 간주하지 않고 공간의 굽어짐과 관련이 있음을 제안한 것이다.

일반적으로 그림 Ⅰ-58과 같이 3차원 공간의 굽어짐을 쉽게 그릴 수가 없어서 보통 공간의 한 차원을 줄여서 2차원 평면으로 그린다. 2차원 평면의 굽어짐은 마치 평평한 고무 판 위에 무거운 쇠공을 올려 놓은 것과도 같다. 만일 그렇다면 공의 무게 때문에 고무 판은 아래로 처질 것이며 쇠공의 주위, 고무 판은 굽어지게 될 것이다. 아인슈타인은 이것을 물체 때문에 중력이 생기고 그 중력으로 주위의 공간이 굽어진 것이라고 해석했다.

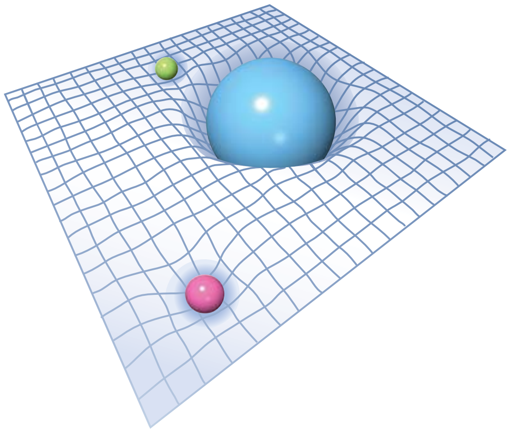


그림 Ⅰ-58 굽은 공간을 나타내는 2차원 곡면

3. 일반 상대성 이론의 증거

아인슈타인이 1915~16년 사이에 일반 상대성 이론을 완성하여 발표하였지만 이에 대한 다른 학자들의 반대와 의심이 많이 있었다. 그러나 여러 관측 결과와 실험 결과는 점차 아인슈타인이 새롭게 해석한 중력 이론이 옳음을 밝혀 주는 계기가 되었다.

수성의 세차 운동

태양 주위를 도는 행성은 케플러 법칙이나 뉴턴의 중력 이론에 의하여 타원 궤도 운동한다는 것이 밝혀졌다. 그러나 뉴턴의 중력 이론은 태양과 한 개의 행성, 즉 두 물체만 있는 경우에 적합한 이론이며, 다른 행성에 의한 중력은 무시한다.

그러나 행성들이 가까이 있는 경우에는 이 법칙이나 이론이 약간씩 수정되어야 하며 행성의 궤도가 타원에서 약간씩 달라지게 되어 그림 Ⅰ-59와 같이 꽃잎처럼 그리게 된다. 이런 식으로 회전축이 약간씩 달라지는 운동을 **세차 운동**이라고 한다. 그런데 수성은 다른 행성보다도 태양에 제일 가까이 있기 때문에 태양의 영향을 가장 크게 받는다.

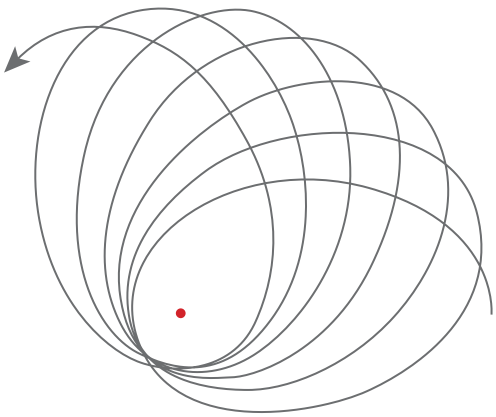


그림 Ⅰ-59 수성의 세차 운동

뉴턴의 이론에 의하면 수성의 궤도는 아주 조금씩 옮겨 가서 100년 동안 5600초만큼 이동한다. 그러나 이 값은 실제 관측값과 43초의 차이를 보였다. 그러나 아인슈타인의 일반 상대성 이론에 의한 태양 주위의 시공간의 굽어짐을 고려한 계산 결과는 바로 이 43초의 차이를 정확히 보여주고 있다. 이는 일반 상대성 이론이 옳은 이론이라는 증거를 제시한 것이다.

각초(″)

1″는 각도 단위 중 하나로 1°를 3600등분한 것이다.

에딩턴(Eddington, A. S.; 1882~1944)

영국의 천체 물리학자. 항성의 질량과 광도의 관계를 이론적으로 증명하고, 상대성 이론을 연구하였다. 저서에 "팽창하는 우주"가 있다.

빛의 휨

원래 빛은 직진하므로 중력의 영향을 받지 않으나 일반 상대성 이론을 고려한 태양 주위의 시공간이 굽어지는 효과는 그 근방을 지나는 빛이 휘어지도록 하는 효과가 있다. 그 크기는 대략 1.75″로 아주 작지만 빛이 굽어진다는 사실은 이전의 빛의 성질과는 전혀 다른 것으로 과학자들의 사고에 큰 변화를 가져왔다. 그리고 이를 관측하기 위한 여러 시도가 있었으며, 영국의 과학자 에딩턴이 이를 관측하는 데 성공하여 아인슈타인을 도와주는 결과를 낳았다.

그림 Ⅰ-60과 같이 태양이 있을 때 빛이 휘는 정도를 측정하려면 태양이 있을 때와 없을 때 별의 위치를 측정하여 비교하면 된다. 태양이 있을 때에는 태양 빛이 너무 밝기 때문에 별을 직접 관측하기 어려우므로 태양 빛을 가리는 일식 때에야 가능하다. 에딩턴도 개기 일식때 관측에 성공하여 일반 상대성 이론을 지지하게 되었다.

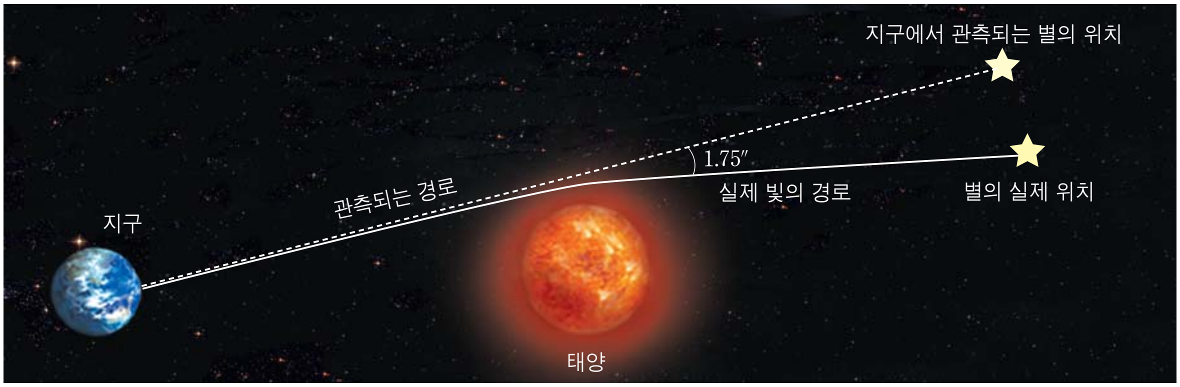


그림 Ⅰ-60 태양 주위에서 빛의 휨

시간 팽창과 GPS

일반 상대성 이론에 의하면 중력에 의해 시간이 점차 느려지게 된다. 앞에서 특수 상대성 이론의 경우 움직이는 관측자의 시간이 느려지는 시간 팽창이 있지만, 중력의 영향으로도 시간이 팽창한다. 이는 실제 GPS에서 시각에 대한 정보를 지구로 송신하는데 있어 지상의 높이에 해당하는 중력 차이를 고려하여 수정한 값으로 보내고 있다. 따라서 일상생활에서 일반 상대성 이론의 영향을 접하고 있다.

중력파

우리가 호수나 세수 대야에 있는 물에 손가락을 담그고 휘저으면 물결파가 발생하여 점차 퍼져 나간다. 일반 상대성 이론에 의하면 중력이 큰 물체 주위의 시공간은 굽어지고, 만일 이 물체들이 심하게 상호 작용하여 움직이면 그 굽어짐은 시공간의 교란이 되어 퍼져 나가게 되는데, 이것을 중력파라고 한다. 백색 왜성, 중성자별, 블랙홀과 같은 중력이 큰 천체나 은하나 은하단과 같은 별의 집단에서 커다란 변화가 일어날 때 발생하기도 한다.

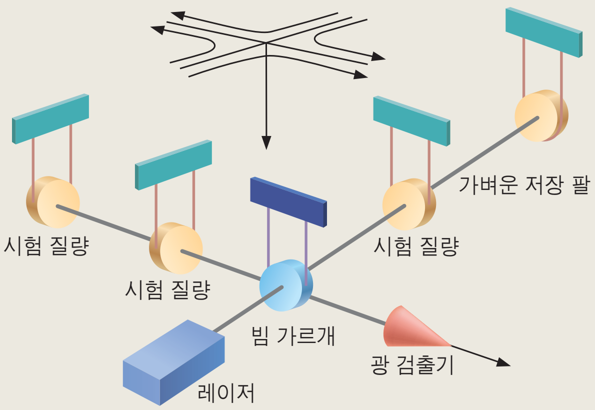
중력파는 아직 직접 관측되지 않고 있지만 간접적으로 존재가 밝혀졌다. 1993년에 노벨 물리학상을 수상한 헐스와 테일러는 중성자별 쌍으로 이루어진 천체 주기가 점차 짧아짐을 알아내고, 이는 중력파의 형태로 에너지를 방출한다는 증거가 됨을 밝혀내었다.

연구 13. 최근에 중력파를 측정하기 위한 여러 국가의 시도가 이루어지고 있다. 앞에서 언급한 LIGO나 LISA와 같은 중력파 측정 장치 외에 국제적인 공동의 노력이든 단독의 노력이든 중력파를 측정하기 위한 여러 노력에 대한 자료를 찾아보자.

한 걸음 더

중력파

중력파를 직접 측정하기 위한 많은 시도 중 대표적인 것은 그림 (가)와 같이 미국의 라이고(LIGO) 측정 장치이다. 이것은 중력파 측정을 위하여 간섭계를 사용한 것인데, 만일 중력파가 지나가면 시공간의 굽어짐이 퍼져갈 것이며, 이곳을 지나가는 레이저의 경로에 변화가 생겨 간섭계에 간섭 무늬가 생길 것이라는 원리로 2002년에 완공되었다. 중력파의 진동수와 세기가 약하여 측정 장치의 규모가 커지게 되는데, 워싱톤 주의 한포드(Hanford)라는 곳과 루이지애나 주의 리빙스턴(Livingston)이라는 곳에 각각 4 km 간섭계를 설치하여 중력파를 측정하고 있으나 아직 성공하지 못하고 있다. 따라서 이를 개량하여 보다 더 정밀한 측정을 위하여 노력하고 있다. 또 미국의 NASA와 유럽의 ESA에서는 공동으로 중력파 측정 장치를 우주에 띠우려는 시도를 구상하고 있다. 이것을 LISA라고 한다. 간섭계 세 개로 각각 5백만 km의 거리를 가진 정삼각형의 꼭짓점을 구성하고, 지구와 태양과의 직선보다 약 20° 정도 뒤를 이어 지구의 궤도를 따라 돌도록 하는 임무로 마치 인공 행성을 만들려는 계획을 이루려 하고 있다. 이처럼 여러 국가가 중력파를 측정하여 아인슈타인의 일반 상대성 이론을 검증하는 것 외에 우주 생성 초기의 정보를 확보하려는 두 가지 목적이 있는 것이다.



간섭계를 이용한 라이고(LIGO) 중력파 측정 장치



미국 루이지애나주 LIGO



4 블랙홀

학습 목표

1. 중력 렌즈 현상을 이해한다.
2. 블랙홀의 형성에 대하여 이해한다.
3. 블랙홀의 물리적인 특성을 안다.

공상 과학 영화나 소설에서는 우주여행과 관련한 이야기를 많이 다룬다. 이때 빠지지 않고 등장하는 것이 바로 블랙홀이다. 옛날에는 블랙홀에 대해서 상상만 하였으나, 최근에는 그 존재에 대해 여러 증거가 나오고 있다. 여기에서는 블랙홀은 어떻게 생기는지, 그리고 어떤 특성을 가지는지 알아보자.

1. 중력 렌즈 현상

먼 곳에 있는 밝은 광원으로부터 온 빛이 지구에 도달하는 중에 중간에 무거운 천체가 있으면 빛이 휘어진다. 이것은 일반 상대성 이론에서 중력에 의해 시공간이 구부러지고 빛이 휘어지는 현상이며, 이것으로부터 여러 개의 상이 생긴다. 이것은 마치 렌즈에 의해 상이 만들어지는 것과 같은 원리이므로 이를 **중력 렌즈 현상**이라고 한다.

이 현상은 1924년 초월슨이 맨 먼저 언급하였으며, 아인슈타인과 계속 논의하였다. 1937년에는 쯔위키는 은하단이 중력 렌즈의 역할을 할 것이라고 하였다. 1979년이 되어서야 'Twin QSO' SBS 0957+561'라는 명칭을 가진 천체에서 중력 효과가 처음으로 관측되었다.

그림 I–61은 중력 렌즈 현상을 설명하는 개요도이다. 중력 렌즈 역할을 하는 무거운 은하가 가운데 있으며, 광원 역할을 하는 것이 멀리 밝은 별이 있다. 이 별에서 빛이 지구로 오다가 중간에 휘어져서 오게 된다. 관측할 때에는 광선이 직진한 것으로

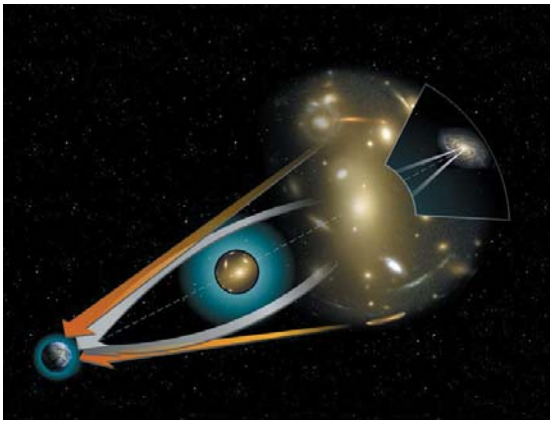


그림 I–61 중력 렌즈 현상을 설명하는 개요도

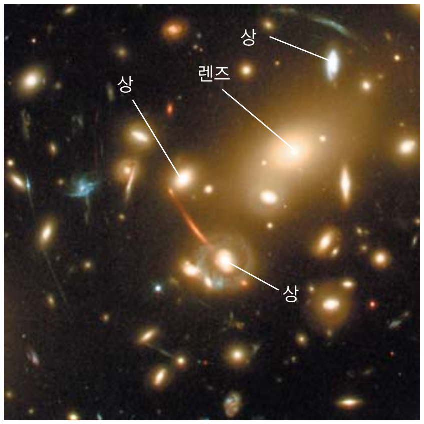


그림 I–62 중력 렌즈 현상이 나타난 천체 사진

보이기 때문에 광선을 연장하면 여러 개의 상이 보이게 된다. 그림 I-62는 실제로 중력 렌즈 현상을 촬영한 것인데, 여러 개의 상이 보인다.

중력 렌즈에 의한 상의 수는 광원과 렌즈 및 관측자의 위치에 따라 여러 개가 생기지만 만일 이들이 일직선에 존재하면 그림 I-63과 같이 완전히 원으로 이루어진 상이 생길 것이다. 이것을 아인슈타인의 원이라고 한다.

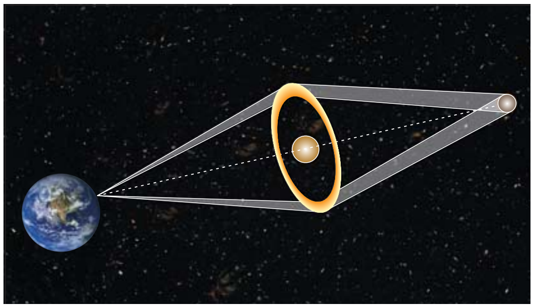


그림 I-63 아인슈타인의 원

2. 블랙홀의 형성

블랙홀의 역사



미첼(Michell, J.; 1724~1793)

영국의 과학자. 질량 주변에서 빛이 휠 수 있고, 빛이 탈출할 수 없는 천체의 개념을 제시하였다.

어떤 물체의 질량이 아주 커서 빛마저도 빠져 나오지 못하는 천체에 대해서 미첼이 1783년에 처음 언급하였다. 만일 태양과 같은 질량을 가진 구의 반지름이 태양의 $\frac{1}{500}$ 정도 되면 그 천체의 중력을 벗어나기 위한 속도가 광속보다 커짐으로 인해 빛조차 빠져나오지 못하게 되는 것이다.

태양 정도의 무거운 별이 붕괴하면 백색 왜성이 되고, 태양 질량의 1.4배보다 무거운 별들은 중성자별이, 질량이 태양의 3~4배를 넘어서면 영원히 붕괴하여 블랙홀이 된다. 블랙홀은 그림에서 보듯이 중심의 중력이 아주 강하여 시공간의 굽어짐이 아주 심하고 한번 물체가 따라 들어가면 나올 수 없다. 이것은 내려오는 에스컬레이터를 거슬러서 올라가려고 시도하는 것과 같다. 내려오는 속도보다 더 빨리 올라가지 않으면 절대로 밖으로 나올 수 없는 것과도 같다. 블랙홀은 광속으로 내려오는 에스컬레이터와도 같기 때문에 아무것도 빠져나오지 못한다.

한 걸음 **더**

블랙홀의 종류

원시 블랙홀(미니 블랙홀) 별이 중력 붕괴하게 되면 그 밀도는 어마어마해진다. 현재의 우주에서는 그러한 높은 밀도는 별에서만 발견된다. 그러나 우주의 빅뱅(대폭발) 직후의 우주 초기에서는 우주의 밀도는 엄청나게 커서 블랙홀이 생성될 수도 있다. 그러한 빽빽한 매체 내에서 초기의 밀도에 교란이 생기면 자체 중력으로 점차 자라 블랙홀이 될 수도 있다. 이러한 블랙홀의 질량은 아주 작아 미니 블랙홀이라고 한다. 그 질량은 $M \leq 10^{15}$g 정도이다.

별 블랙홀 앞에서 소개하였듯이 별의 일생에서 적당한 조건보다 무거우면 계속 붕괴하여 블랙홀이 되는데 태양 질량의 대략 10배 정도에 해당한다.

거대 블랙홀 보통 은하나 은하단이 한꺼번에 붕괴하여 블랙홀이 되거나 은하의 중심핵이 블랙홀이 되어 점차 블랙홀의 중심으로 주위의 물질들이 빨려 들어가 거대한 블랙홀이 된다. 그 질량은 태양 질량의 대략 10^{10}배에 해당한다.

탐구 12 가상 실험 **블랙홀**

- **과 정** 블랙홀 주위의 시공간에 대한 가상 프로그램이나 유튜브를 통하여 블랙홀 주위의 물체들의 운동을 탐색한다.
- **인터넷**
  - http://www.newscientist.com/articlevideo/dn18498/65768875001−new−black−hole−simulator−uses−real−star−data.html
  - http://www.vis.uni−stuttgart.de/~muelleta/IntBH/
  - http://www.youtube.com/watch?v=GYKyt3C0oT4
  - http://www.youtube.com/watch?v=hoLvOvGW3Tk feature=related
- **정 리** 멀리서 올 경우, 가까이서 도는 경우, 돌다가 빨려 들어가는 경우

블랙홀의 발견

블랙홀은 그것이 가지는 성질상 아무것도 신호를 밖으로 내보낼 수 없다. 따라서 블랙홀을 직접 관측할 수 없다. 그러나 간접적으로는 블랙홀 가까이 있는 이웃 별의 구성 물질들이 블랙홀로 빨려 들어갈 때 방출하는 X선의 특성으로부터 블랙홀이 있음을 감지할 수 있다.

이와 같은 방식으로 맨 처음 블랙홀의 후보로 확인 된 것이 백조좌에서 X선을 방출하는 Cygnus X-1이다. 이와 비슷하게 블랙홀의 후보로 알려진 것이 우리의 은하 내에서도 여러 개 있다.

연구 14. 만일 우리가 블랙홀로 빨려 들어간다면 우리의 몸은 어떻게 될지 알아보자.

과학과 **생활**

호킹의 블랙홀 복사와 증발

블랙홀이 모든 것을 빨아들이기만 하고 아무것도 내어 놓지 않는다는 천체임이 잘 알려져 있다. 그러나 70년대부터 블랙홀에 대해 조금씩 연구가 되어온 것들 중의 하나가 바로 블랙홀이 에너지를 방출한다는 사실이다.

이것은 블랙홀에 양자론을 도입함으로써 이해가 되는데 블랙홀이 마치 에너지를 가진 물체가 복사를 방출하는 것과 같은 방식으로 열에너지를 방출한다고 이해되고 있다. 현재는 대부분 이를 믿고 있으나 검증이 된 것은 아니다.



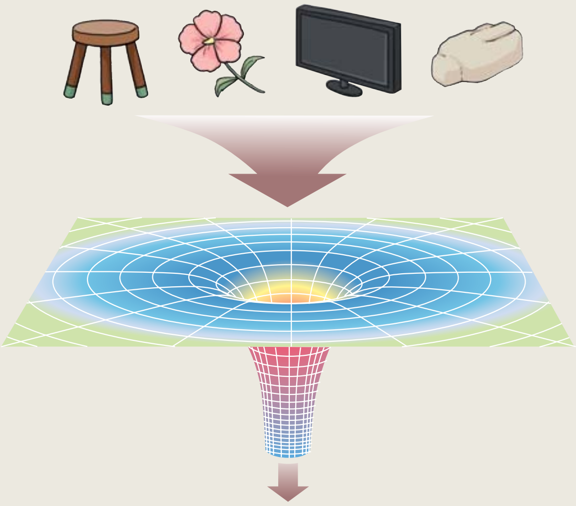
한 걸음 더

블랙홀 주위의 빛의 여행

맨 아래 그림의 (가)와 같이 빛이 블랙홀 주위로 가까이 지나갈 때 원래의 경로에서 어긋난다. 분홍색 원은 블랙홀의 내부 영역이다. 이곳에서는 한 번 들어간 빛이든 어느 물체든 밖으로 빠져나오지 못한다.

밖의 세 광선은 블랙홀로부터 멀리 떨어져 있으므로 약하게 구부러지나 블랙홀의 영향은 아주 크므로 충분히 가까이 접근한다.

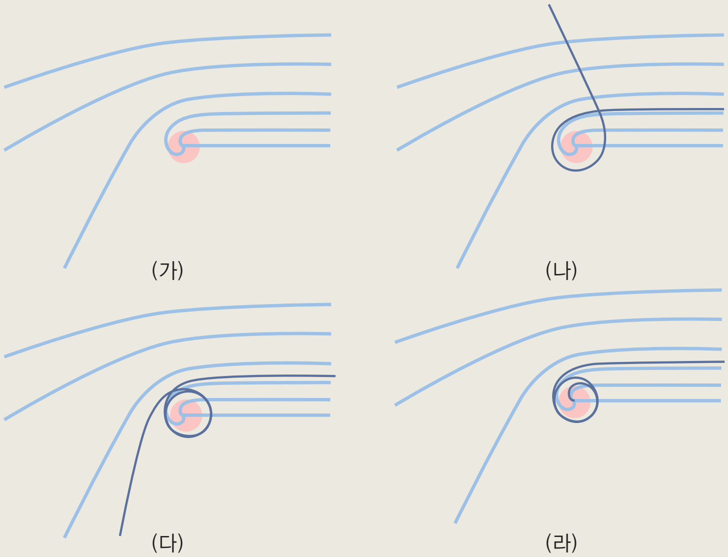
안쪽의 세 광선은 블랙홀에 아주 가까이 접근한 빛은 잡히고 사건의 지평면을 통과한 빛은 특이점에서 끝을 맺는다.



무엇이든지 빨아들이는 블랙홀

흥미로운 영역은 이 둘 사이인데, 이곳에서는 빛들이 바로 잡히거나 겨우 빠져나온다. 그림 (나)의 중간 영역에서는 빛들이 예를 들어 $\frac{3}{4}$바퀴 정도 돌고 블랙홀을 빠져나간다.

그림 (다)와 같이 블랙홀을 빠져나가기 전에 여러 바퀴를 더 돌기도 한다. 또 그림 (라)와 같이 블랙홀 주위를 여러 바퀴 회전하다가 블랙홀로 빠져 들어간다. 빛이 블랙홀을 빠져나갈 수 있는지 아니면 빠져 들어가는지의 경계는 사건의 지평면의 1.5배 정도의 원주이다. 이곳에 원궤도를 그리면 빛은 영원히 블랙홀 주위를 회전할 것이다. 이곳을 **빛 구**라고 한다. 이곳에서 조금 더 큰 궤도를 도는 빛은 블랙홀을 여러 차례 돌다가 탈출한다. 물론 이 경계보다 약간 작으면 블랙홀을 여러 차례 돌고는 블랙홀로 빨려 들어간다.



블랙홀 주위의 빛의 여행



5 현대 우주론

학습 목표

1. 과거의 우주론과 현대 우주론의 차이점을 안다.
2. 일반 상대성 이론으로부터 현대 우주 모형이 가능함을 안다.
3. 대폭발 우주론을 지지하는 관측 결과들을 안다.

우주론은 우주의 구조와 우주를 구성하는 성분에 대해 연구하는 천체 물리학의 한 분야이다. 우주는 어떻게 만들어졌으며, 어떻게 진화해왔는지, 또 미래에는 우주가 어떻게 변화하게 될지 궁금해 하는 모든 것에 대해 연구한다.

1. 과거의 우주론

우주론은 인류의 역사만큼이나 오래되었다. 원시 시대는 그 당시 사람들에게는 우주란 매일 부닥치는 것이었다. 날씨나 지진 같이 주위에서 변하는 것들이 바로 우주였다. 이들의 변화는 마치 마술과도 같아서 이 시기의 우주론을 '마술 우주론' 이라고도 한다.

이후 지금부터 2만 년 전~5천 년 전쯤에는 인류는 문명이 더욱 발달하게 되어 우주를 정교화된 시각으로 보게 되었다. 그때의 우주론은 신들이 우주를 만들었다는 '신화우주론' 이다. 고대 이집트에서는 우주론은 이집트 종교와 동일시되었고 사제들은 신들이 나타나는 장소와 시각을 계산하고 예측하는 일들을 하게 되었다. 메소포타미아 지역의 우주론은 훨씬 더 정밀해져서 바빌론에서는 일식, 행성의 위치, 달의 일몰과도 같은 현상들에 대해 세밀하고 꾸준히 기록해왔다.

그리스 시대의 우주론은 현대 우주론의 핵심이 된다. 그리스 인들은 관찰과 실험을 통하여 단순하면서도 보편적인 우주법칙을 찾으려 하였다. 이때의 우주론은 '기하학적인 우주론' 이라 불린다.



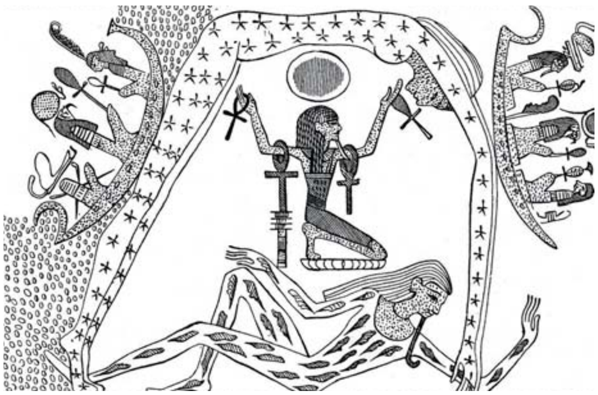


그림 Ⅰ-64 우주에 대한 신화

중세의 우주 모형은 프톨레마이오스의 '천동설'에 기반을 두고 그림 Ⅰ-65와 같이 지구 중심 주위로 태양을 비롯하여 행성들과 별들이 회전하는 것이다. 천동설 우주론은 세상에서 인류가 가지는 특별한 성질 때문에 우주가 우리를 위해, 또는 우리들의 의해 설계되었다는 것과도 같은 '인간 중심 우주론'의 효시가 되었다.

이렇게 1400년이나 계속되었던 천동설은 르네상스 이후 근대에 넘어와 코페르니쿠스에 의해 무너졌다. 그는 지동설을 제창하였으며, 그의 이론은 이후 티코 브라헤, 케플러, 갈릴레이, 뉴턴으로 이어지면서 우주론은 과학적인 체계를 갖추게 되었다.

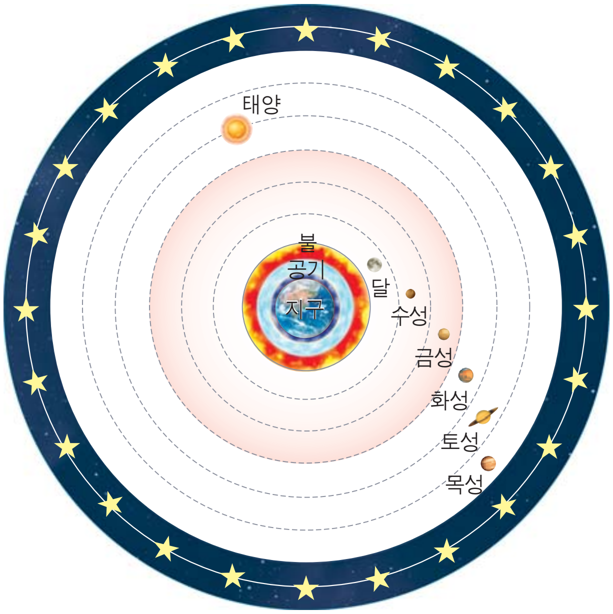


그림 Ⅰ-65 중세 우주 모형

2. 현대 우주론

아인슈타인의 상대성 이론에 의해 우리는 시공간의 구조나 시간적 흐름을 새롭게 이해할 수 있다. 따라서 우리가 살고 있는 우주의 구조뿐만 아니라, 우주의 과거, 현재, 미래에 대해서도 답을 알 수 있다. 그러나 과학 기술의 진보로 새로운 관측 결과들이 나오고 있으며, 이는 우주론을 수정하도록 하고 있다.

대폭발(Big Bang) 우주론

대폭발 우주론은 과거 어느 시점에 커다란 폭발이 있어 우주와 시공간이 생성되고 지금까지 계속 팽창하는 우주 모형을 말한다. 대폭발 이론 이전까지는 사람들은 우주는 이미 만들어져 있어서 전혀 움직이지 않는 정적인 우주라고 믿고 있었으며, 이는 절대적인 우주라고 간주하였다.

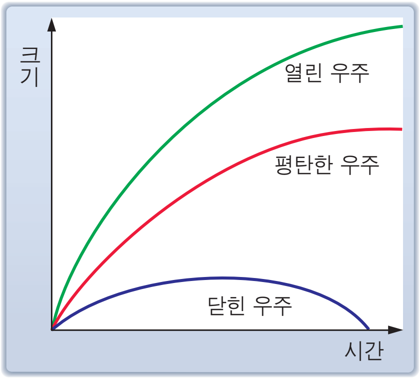


그림 Ⅰ-66 프리드만 · 로버트슨 · 워커 우주 모형 : 모두 과거의 어느 시점에 우주의 크기가 0이었음을 말한다.

대폭발 우주는 그림 Ⅰ-66과 같이 현재 프리드만 · 로버트슨 · 워커 우주 모형으로 잘 알려져 있다. 이것은 아인슈타인 방정식을 풀어서 구한 것인데, 과거의 어느 시점에 우주의 크기가 0이었음을 말하고 있다. 우주를 구성하는 물질의 밀도에 대해서 어느 임계 밀도를 넘어가면 우주는 팽창하다가 다시 닫히게 되는 닫힌 우주가 될 것이며, 반대로 이보다 더 작으면 우주는 팽창하기를 계속하는 열린 우주 모형, 그리고 임계 밀도일 때에는 팽창하다가 멈추는 평평한 모형이 될 것이다.

현재의 관측 결과는 우리 우주가 거의 평평한 우주에 가까울 것으로 나타난다. 하지만 우리가 관측하는 물질의 밀도는 임계 밀도에 비해 아주 작으므로, 우리가 관측

적색 편이

별이 멀어질 때 나오는 빛의 파장이 길어지는 효과로, 스펙트럼의 중심이 파장이 긴 적색으로 약간 이동한다.

도플러 효과

빛이나 소리 같은 파동이 점차 멀어지면 진동수가 낮아지고 파장은 점차 길어지는 현상이다.

할 수 없는 물질이 있어야만 한다. 이를 **암흑 물질**이라고 한다. 현재 우주론에서는 암흑 물질이 있어야만 하는 것에 과학자들은 동의하지만, 많은 이론들이 있어 이것에 대해 합의한 모형은 없다.

허블은 1920년대 말에 윌슨 산에 있는 천체 망원경으로 은하들의 운동을 관찰하다가 은하들의 적색 편이 현상을 발견하였다. 이는 현대 우주론에 있어서 가장 중요한 발견 중의 하나인 것이다. 그는 은하들이 점점 더 서로 멀어지는 것을 확인하였으며, 멀리 있는 것일수록 더 빨리 멀어져 간다는 것을 알게 되었다.

그는 멀리 있는 은하일수록 그 은하에서 나오는 빛의 스펙트럼이 점점 붉은색 쪽으로 치우쳐 가고 있으며, 이는 빛의 도플러 효과에 의한 것이며, 멀리 있는 은하일수록 후퇴하는 속도가 더 크다는 의미를 내포하고 있다.

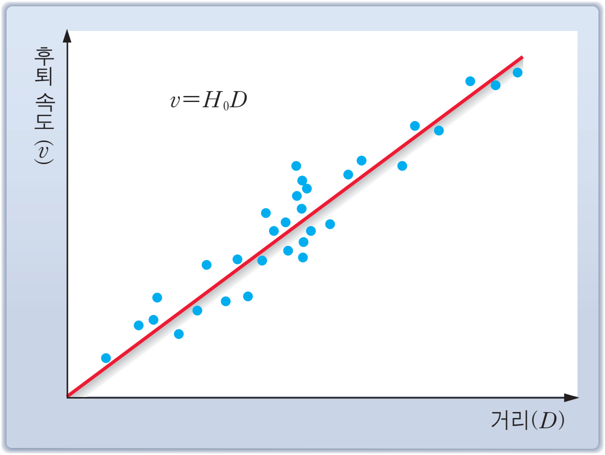


그림 Ⅰ-67 허블 법칙

그림 Ⅰ-67의 그래프를 보면 가로축은 지구로부터 떨어진 은하들까지의 거리이고, 세로축은 후퇴 속도를 말한다. 이들에게는 허블 법칙이라는 관계가 형성되는데

$$v=H_0D$$

이다. 이때 H_0는 허블 상수라 하는데, 실제로는 상수가 아니다. D는 지구에서 은하까지의 거리이다. 지금 현재의 H_0값을 대입하면 위 식은 허블의 법칙을 말해주는 셈이다. 허블 상수의 최근 측정값은 대략 70.8 (km/s)/Mpc이다. 이 법칙은 우리 은하로부터 멀리 떨어진 은하들의 후퇴 속도가 떨어진 거리에 비례함을 말하고 있다.

예제 10

지구로부터 100만 광년 떨어진 은하의 현재 후퇴 속도는 얼마인가?

해설 | 허블의 법칙에 대입하여 구하면 1 pc=3.26광년이므로

$$v=H_0D=70.8\text{(km/s)/Mpc}\times\frac{10^6\text{광년}}{3.26\text{ pc}}=21.7\text{ km/s이다.}$$

답 21.7 km/s

1965년에 벨연구소의 펜지어스와 윌슨은 우주에서 날아오는 마이크로파를 측정하였다. 이 관측 결과는 대폭발 우주론을 뒷받침하는 큰 증거로 인정받게 되었다. 대폭발 후 초기 우주는 지금보다 작고 더 뜨거웠는데, 우주가 팽창하면서 점차 식는다. 우주의 나이가 38만 년쯤 되었을 때, 돌아다니던 광자들은 훨씬 더 넓어진 우주를 채

우게 되면서, 더 희미해지고, 더 에너지가 낮아지게 되어 지금 과 같이 마이크로파로 채우게 된 것이다. 이를 우주 마이크로파 배경 복사라고 한다. 2001년 발사된 WMAP 위성은 정밀한 우주 배경 복사를 측정하여 그림 I-68과 같이 우주론 연구에 획기적인 정보를 제공하여 현대 우주론의 정립에 많은 공헌을 하였다.

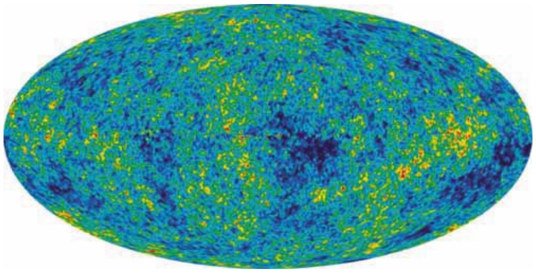
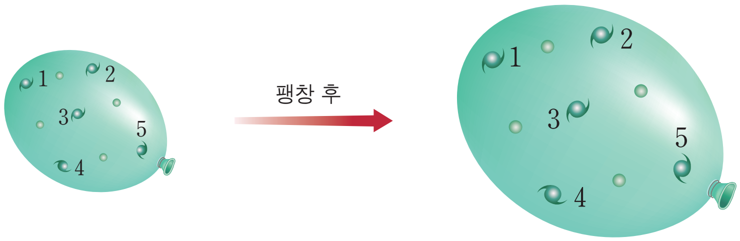


그림 I-68 WMAP 위성으로 측정한 마이크로파 배경 복사

탐구 13 해 보기 **우주 모형**

- **준비물** 풍선, 펜, 줄자
- **과 정** 1. 풍선 위에 적당히 점들을 찍고 번호를 붙인 다음 점들 사이의 거리를 재자.
  2. 풍선을 불어서 어느 정도의 부피가 되었을 때 점들 사이의 거리를 다시 재어 보자.



- **정 리** 1. 다음 표를 작성하고, 표를 이용하여 그래프를 그려 보자.

측정	1과 2 사이	1과 3	1과 4	2와 3	2와 4
1차					
2차					
3차					
4차					

2. 이들 사이에 어떤 관계를 알 수 있는가?
3. 이와 같은 현상을 측정할 수 있는 다른 실험을 고안하여 보자.

급팽창 이론과 가속 팽창 우주론

대폭발 우주론이 가진 문제점들을 보완하고자 도입되었던 것이 바로 1980년대의 급팽창 이론(인플레이션 이론)이다. 우주가 단순한 대폭발 우주론으로는 감속 팽창할 수밖에 없으며 이것으로만 우주가 평평하다는 것과 우주가 엄청나게 클 수 있음을 밝혀주지 못하였다. 이를 보완하려고 대폭발 후 우주 초기에 10^{30}배나 급하게 팽창하는 이론을 도입한 것이 급팽창 이론이다.

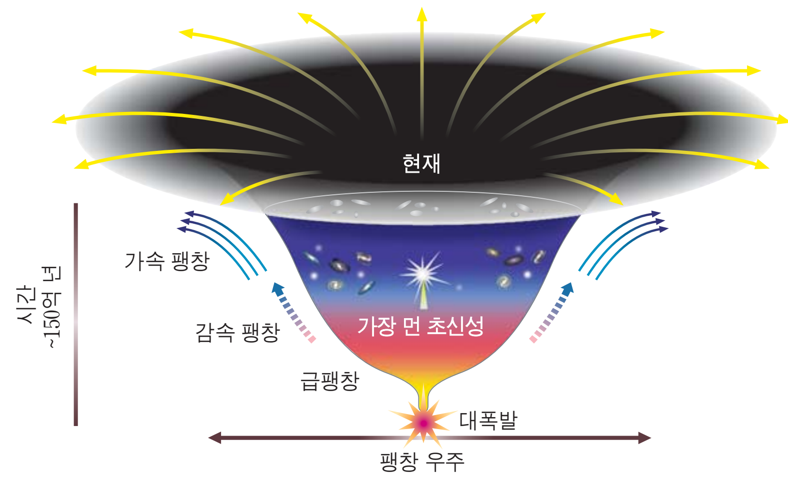


그림 Ⅰ-69 우주 팽창을 나타내는 모형도

그런데 최근의 관찰 결과들에 따르면 지금 우주의 팽창 비율이 증가하며 팽창하는 모습으로 나타나고 있다. 이를 **가속 팽창**이라고 한다. 1998년에 Type Ia 초신성에 대한 관측결과 우주의 팽창이 가속하고 있다고 나타났다. 그림 Ⅰ-69는 우주 팽창을 나타낸 모형도이다.

우주가 가속 팽창하려면 새로운 물질이 우주를 가득 채워야 한다. 그 물질은 보통 물질과는 다른 성격을 가져야 하는데, 이를 **암흑 에너지**라고 한다. 지금의 관측 값으로 나타나는 우주의 가속도를 가지려면 우주를 구성하는 물질은 암흑 에너지 72%, 암흑 물질 23%, 보통 물질 4.6%의 분포를 가져야 한다. 그러나 아직은 암흑 에너지의 정체를 알지 못하고 있으며, 그에 대한 여러 후보를 연구하고 있다.

과학과 생활

인공위성

인공위성 발사 우주 왕복선이 위성을 우주에 띄우기는 하지만 대부분 위성들은 로켓에 의해 우주로 발사된다. 많은 위성들은 자신들의 기능이 정상화되기 전에 작은 조정이 필요한데, 내장된 로켓이 이 일을 감당한다. 일단 위성이 안정된 궤도에 진입하면 더 이상 조정이 필요 없이 장시간 그곳에 머물게 된다.

임무 수행 대부분 지상의 관제 센터에서 위성들을 직접 조정한다. 관제 센터의 컴퓨터와 사람이 위성의 위치를 감시하고, 컴퓨터에 지시를 내리며, 위성이 수집한 정보들을 검색한다. 관제 센터는 위성과 라디오파로 교신한다.

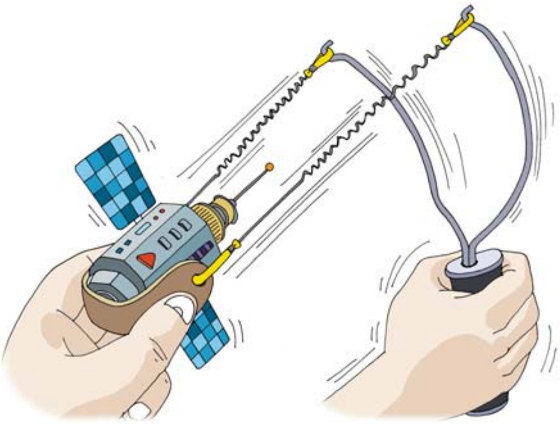
위성은 높은 고도에 있고 늘 그 궤도를 유지하기 위해서는 지구와 계속 연락을 유지한다. 낮은 궤도의 위성들과는 하루에 12번 정도 교신한다. 교신 중에는 위성은 정보를 보내주고 지시를 받는다. 만일 위성의 일부가 손상되었더라도 나머지로 기능을 유지할 수 있다면 계속 작동하도록 한다. 어떤 경우에는 지상 관제소에서 위성을 재프로그램화하여 수리하기도 한다. 흔하지는 않지만 우주 왕복선 승무원이 우주 공간에서 수리하기도 한다. 만일 더 이상 임무 수행이 불가능하고 수리도 어렵다면 관제 센터에서는 교신을 중단한다.

궤도에서 이탈 위성은 그 궤도를 유지하다가 속도가 줄고, 중력에 의해 떨어져 상대적으로 밀도가 높은 대기권으로 들어오면 공기 입자와의 충돌로 속도가 더 떨어진다. 이후 중력에 의해 대기권에서 가속하여 공기와 마찰이 일어나면 열이 발생하여 대부분 타버린다.



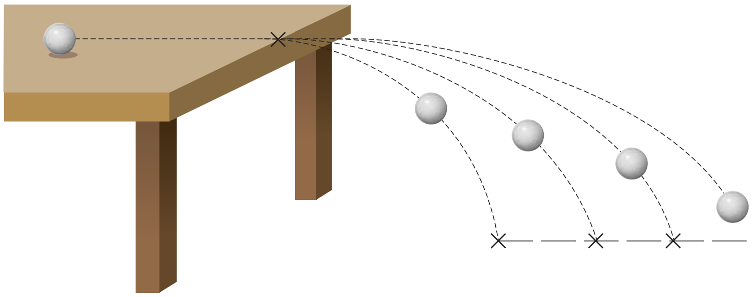
탐구 14 해 보기 위성 궤적 측정하기

자 료 지구 대기권 위보다 높은 산을 상상해 보자. 아마도 에베레스트 산보다 10배나 높을 것이다. 그 산 꼭대기에서 야구공을 던지면 포물선을 그리며 지상으로 떨어질 것이다. 이때 수평으로 더 빨리 공을 던진다면, 그 공은 더 멀리 땅에 떨어질 것이다. 지표면으로부터 약 100 km의 고도에서 만일 공을 약 7.6 km/s의 속도로 던진다면 땅에 떨어지지 않고 지구 주위를 원궤도를 그리며 돌 것이다. 이것이 위성을 궤도에 올려놓는 데 필요한 속도이다. 그래서 우주 왕복선이나 로켓에 강력한 추진체가 붙어 있다.



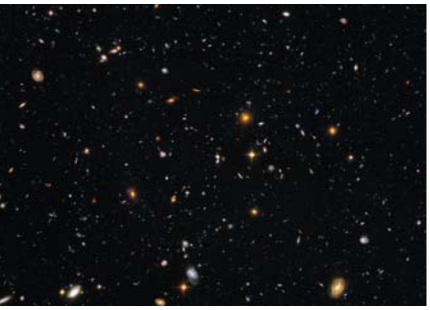
우리는 이 속도에 도달할 수 없으나 착륙 지점을 길게 하는 데 영향을 주는 힘을 어떻게 늘이는지 시험해 볼 수 있다.

준비물 탁구공, 분필, 회전판(턴테이블), 회전판에 놓을 원형 종이, 펜



과 정
1. 책상의 끝자락에 탁구공을 굴린다.
2. 탁구공이 책상을 떠나 교실 바닥에 떨어진 맨 처음 위치를 분필로 표시한다. 이 두 점 사이의 굽은 경로가 공의 궤적이다.
3. 매회 더 큰 힘을 주어 위 실험을 반복한다. 이때 출발점과 도착점 사이의 길이를 측정한다.
   ⇨ 경로는 어떻게 변하는가?
4. 종이를 원형으로 잘라 회전판 위에 놓는다.
5. 회전판을 회전시킬 때 회전판으로 종이 위에 직선을 그린다.
6. 회전판을 정지시키고 직선이 어떤 모양을 하는지 관찰하자.
   ⇨ 그 직선이 왜 굽었는가?

정 리
1. 어떻게 회전판이 지구 주위를 도는 위성과 유사한가?
2. 위성을 더 빨리 움직이게 하여 지구의 궤도를 벗어나게 할 수 있는가?
3. 회전하는 회전판 위에 직선을 조금 더 빨리 그리면 어떻게 될 것인가?



6 네 가지 상호 작용과 기본 입자

학습 목표

1. 자연계의 네 가지 기본힘과 그 특성을 안다.
2. 기본 힘에 관련된 매개 입자들을 안다.
3. 기본 입자에 대한 표준 모형을 안다.

우주를 구성하고 있는 기본 입자들은 빛을 포함하여 **쿼크와 렙톤**이다. 이들은 우주 생성 초기에 생성되었으며, 이들 사이에는 여러 가지의 힘의 법칙이 존재하고 이들이 여러 입자들을 구성한다.

어떠한 힘이 입자들 사이에 존재하며, 이를 조절하는 물질이나 입자들은 무엇인지 알아보자.

1. 자연계의 네 가지 기본힘

물리학에서 기본 상호 작용이란 우주의 가장 단순한 입자들이 서로 상호 작용하는 방식이다. 다른 상호 작용으로 설명할 수 없을 때 **기본 상호 작용**이라고 한다.



그림 Ⅰ-70 자연계의 네 가지 기본힘

그림 Ⅰ-70과 같이 네 개의 기본 상호 작용은 전자기 상호 작용, 강한 상호 작용, 약한 상호 작용, 중력 상호 작용이다. 이들 상호 작용은 매개 입자를 교환하는 방식으로 작용한다.

전자기력은 쿨롱 전기력과 자기력을 합한 이론으로서, 맥스웰에 의해서 확인되었다. 이 힘이 작용하는 매개 입자는 보통 빛 입자라고 하는 광자이다.

그리고 중력은 질량을 가진 물체들 사이에 작용하는 상호 작용으로, 질량이 양의 값을 가지므로 항상 인력으로서만 존재한다.

약한 상호 작용, 또는 약력은 베타 붕괴와 같은 핵 현상에 작용한다.

강한 상호 작용, 또는 강력은 원자핵에서만 작용한다. 핵을 구성하는 입자들을 결합하기 위한 것으로서 전기력을 뛰어넘는 강한 힘이다.

이들 네 개의 기본힘들의 크기는 힘이 작용하는 거리에 따라 다르게 나타나나 거시적인 범위에서는 중력이 가장 약하다. 그것은 바로 중력 상수의 크기가 아주 작기 때문이다. 전자기력과 중력은 힘이 작용하는 범위는 거의 무한대일 정도로 넓지만 강한 핵력과 약한 핵력은 핵 안에서만 작용하기 때문에 그 작용 범위는 아주 좁다.

강한 핵력에서는 글루온이라는 입자가, 약한 핵력에서는 W^+, W^-, Z 입자가, 전자기력에서는 광자가, 그리고 중력에서는 중력자라고 하는 입자가 매개 입자이다.

베타붕괴

핵 속의 중성자가 양성자로 변하면서 전자와 중성미자가 튀어 나오는 현상이다. 핵의 질량수는 변하지 않지만 양성자수가 하나 늘어나므로 원자번호는 1 만큼 증가한다.

다른 입자들은 다 발견되어 이 이론에 확증을 더해 주고 있지만 다만 중력을 매개하는 중력자만 아직 발견되지 않고 있어서 앞으로 이를 확인하는 일이 필요하다.

표 Ⅰ-2 네 가지의 기본힘

힘	매개 입자	상대적인 크기 (핵 안에서)	매개 입자의 정지 에너지(GeV)	작용 범위 (m)
강력	글루온	20	0	10^{-15}
전자기력	광자	1	0	무한대
약력	W^+, W^-, Z 보손	10^{-7}	80～90	10^{-17}
중력	중력자(미확인)	10^{-36}	0	무한대

에너지 단위

$1\ \text{GeV} = 10^9\ \text{eV}$

$1\ \text{eV} = 1.6\times10^{-19}$ J에 해당하는 에너지임

통일장 이론과 우주론

물리학자들은 이 네 가지 기본 힘들이 서로 다른 이론으로 설명이 되는 것이 별로 바람직하지 않다고 보고 하나의 이론으로 설명되기를 원하고 있다. 통일장 이론은 아직 완성된 단계는 아니지만, 우주론에서 초기 우주를 설명할 때 적용된다.

대폭발 때에는 네 가지의 힘이 하나로 통일된 상태에 있었지만 우주가 팽창하고 온도가 낮아질수록 힘이 하나씩 분리되었다고 생각한다. 제일 먼저 중력이 나머지 셋과 분리된다. 다음에는 강력이 분리되고 나중에는 약력과 전자기력이 분리되어 지금까지 오고 있다. 그림 Ⅰ-71에서는 우주가 대폭발 이후 팽창하는 과정에서 시간에 따라, 우주의 온도에 따라, 에너지에 따라 네 가지 힘이 분리되는 과정을 설명하고 있다.

볼츠만 상수

온도와 에너지와의 관계 ($E=kT$)를 나타내는 상수로 $k=1.43\times10^{-23}$ J/K이다.

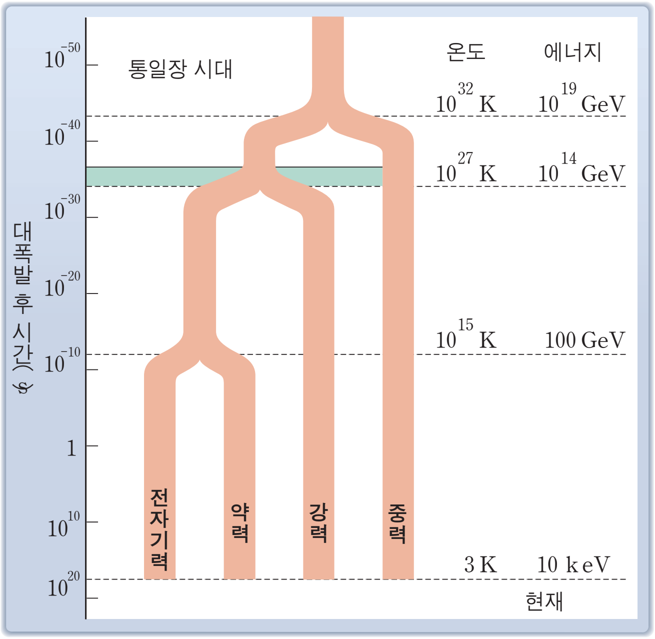


그림 Ⅰ-71 네 가지 기본힘의 통일과 우주 진화 시나리오 : 에너지는 주어진 온도에 해당하는 에너지로 해당 온도에 볼츠만 상수를 곱한 값이다.

2. 기본 입자 표준 모형

표준 모형에서는 쿼크라는 입자와 렙톤이라는 입자를 기본 입자로 정하고 있다. 쿼크는 핵을 이루는 핵자들인 양성자, 중성자, 중간자 등을 구성하고 있는 기본 입자이다.

단위 전하

단위 전하는 $e=1.6\times10^{-19}$ C을 말하며 전자는 $-e$의 전하량을, 양성자는 $+e$의 전하량을 가지고 있다.

쿼크

1964년에 머레이 겔만과 조지 츠바이크는 그 당시에 알려진 수백 종류의 입자들이 바로 세 종류의 기본 입자들의 조합일 것이라고 제안하였다. 겔만은 쿼크라는 이름을 선택하였다.

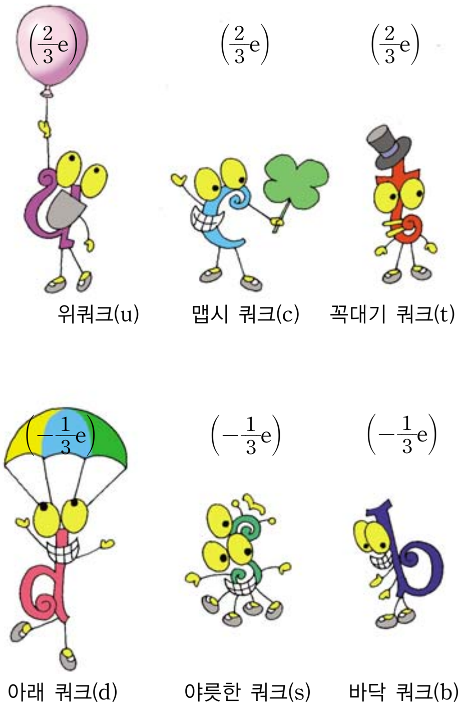
쿼크를 분류하기 위하여 6종류의 '맛깔'을 부여한다. 실제로 쿼크에 맛이 있다는 것은 아니다.

쿼크들은 $+$e이나 $-$e의 전하를 가지는 양성자나 전자와 다르게 분수 크기의 전하를 가지고 있다. 중간자는 두 개의 쿼크로 이루어져 있다. 그리고 양성자는 두 개의 위 쿼크(전하는 $\frac{2}{3}$e)와 하나의 아래 쿼크(전하는 $-\frac{1}{3}$e)로 구성하는데, 이들의 전하를 조합하면 다음과 같다.

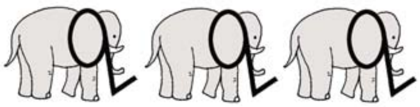
과학사

쿼크의 발견

그림 Ⅰ-73과 같이 두 개의 가장 가벼운 것을 위쿼크와 아래 쿼크라고 한다. 세 번째 쿼크는 야릇한 쿼크라고 한다. 그것은 이 쿼크를 포함한 입자로 맨 처음 발견된 K 입자가 이상할 정도로 오래 살기 때문이다. 네 번째는 맵시 쿼크라 부르는데, 1974년에 거의 동시에 SLAC(스탠포드 대학 내의 가속기 연구소)와 브룩헤븐 국립 연구소에서 발견되었다. 다섯 번째와 여섯 번째 쿼크는 한때 '진실(truth)'과 '아름다움(beauty)'이라 불리기도 했으나 물리학자들조차도 너무 귀엽다고 생각하였다. 지금은 꼭대기 쿼크와 바닥 쿼크라 불린다. 바닥 쿼크는 1977년에 페르미 연구소에서 발견되었으며 그 당시 복합 입자는 업실론이라고 한다. 꼭대기 쿼크는 제일 나중 발견되었는데 그때가 1995년이었다. 꼭대기 쿼크는 가장 무거운 쿼크이며, 오래 산다고 예측되긴 했지만 그때까지 성공적으로 발견되지는 못하였다.



전하 : $u\left(\frac{2}{3}\right)+u\left(\frac{2}{3}\right)+d\left(-\frac{1}{3}\right)=+1$



? 물음 19. 중성자는 udd의 세 쿼크로 구성되어 있다. 전하가 얼마인가?

렙톤

입자의 다른 형태는 렙톤(경입자)이다. 렙톤에는 6종이 있으며, 3종은 전하를 가지고 있고, 나머지 3종은 전하를 갖고 있지 않다. 그들은 모두 내부 구조가 없는 점 입자와 같다. 가장 잘 알려진 렙톤은 전자(e^-)이다. 다른 두 개의 전하를 가진 렙톤은 뮤온(μ)과 타우 입자(τ)이다. 이들은 전자처럼 전하를 가지지만 질량은 훨씬 더 크다. 다른 렙톤은 세 종류의 중성미자(뉴트리노, ν)이다. 그들은 전하도 없고, 아주 작은 질량을 가지고 있으며, 발견하기가 아주 어렵다.

쿼크는 다른 쿼크와 결합하여 다른 입자를 구성하지만 렙톤은 독자적으로 입자를 이룬다. 표 Ⅰ-3은 표준 모형에서 제시된 쿼크와 렙톤들을 정리한 것이다.

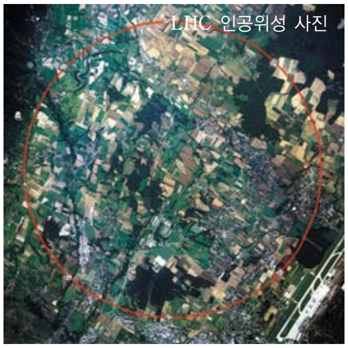
표 Ⅰ-3 쿼크와 렙톤의 종류

렙톤	전하	제 1 세대		제2세대		제3세대	
쿼크	$+\frac{2}{3}$	위쿼크	u	맵시 쿼크	c	꼭대기 쿼크	t
	$-\frac{1}{3}$	아래 쿼크	d	야릇한 쿼크	s	바닥 쿼크	b
렙톤	-1	전자	e^-	뮤온	μ^-	타우 입자	τ^-
	0	전자 중성미자	ν_e	뮤온 중성미자	ν_μ	타우 중성미자	ν_τ

과학과 생활

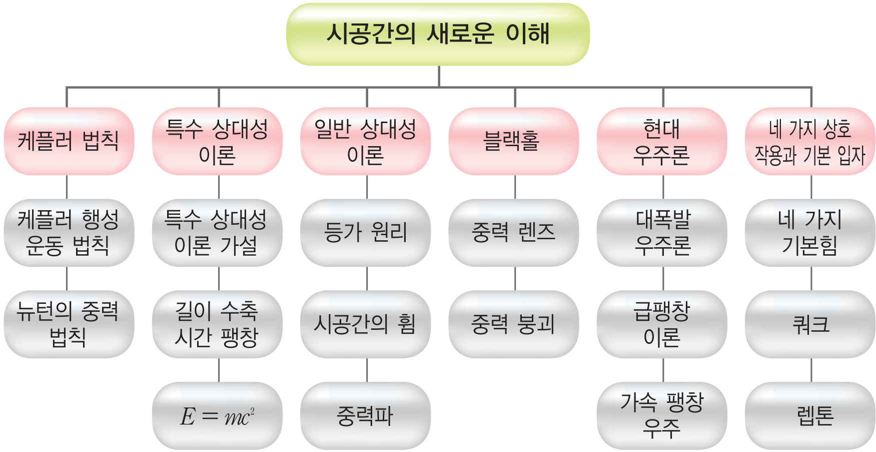
하드론 충돌기

과학자들은 가속기를 통하여 기본 소립자를 발견한다. 가장 최근에 건설된 입자 가속기로서 거대 하드론 충돌기(Large Hadron Collider, 줄여서 LHC)는 CERN(유럽 핵입자연구소)에서 세운 입자 가속 및 충돌기로, 스위스 제네바 근방에서 공사를 마무리하였다. LHC는 2008년 9월 10일에 목표치보다 낮은 에너지에서 가동을 시작하였다. 그로부터 몇 개월 뒤 목표치인 7 TeV에 도달한 이후, LHC는 세계 최대, 최고 에너지의 입자 가속기가 된다. LHC의 자금 모집 및 건설은 34개 국가의 대학과 연구소 및 2000여 명의 과학자들이 힘을 합쳐 이루어졌다.


LHC 인공위성 사진

02 시공간의 새로운 이해
중단원 마무리

한눈에 보기



되짚어 보기

- 모든 행성들은 태양을 초점으로 하는 타원 궤도 운동한다.
- 행성들이 타원 궤도를 돌면서 일정 시간 동안 태양과 잇는 선이 타원을 쓸고 간 부채꼴의 면적은 항상 같다.
- 행성이 공전하는 타원의 긴반지름의 세제곱과 주기의 제곱은 서로 비례한다.
- 균일하게 움직이는 모든 좌표계에서는 모든 자연계의 법칙이 동일하다.
- 광속은 광원이나 관측자의 운동에 관계없이 항상 같은 값으로 측정된다.
- 가속하는 좌표계에 있는 관측자가 관측하는 것과 중력장에서 관측하는 것을 서로 구별할 수 없다.
- 블랙홀은 별이 수명을 다해 붕괴된 것으로 빛마저도 빠져나올 수 없는 천체이다.
- 대폭발 우주론은 과거의 어느 시점에서 대폭발하여 지금의 우주로 팽창하였다는 우주 모형이다.
- 자연계의 네 가지 기본힘은 중력, 약력, 전자기력, 강력이고 기본 입자는 핵자를 이루는 쿼크와 전자 및 중성미자와 같은 렙톤이다.

주요 용어

근일점, 원일점
긴반지름, 짧은 반지름
조화 법칙
뉴턴의 운동 법칙
동시성, 동시 사건
길이 수축
시간 팽창
가속 좌표계
등가 원리
시공간의 휨
블랙홀
대폭발 우주론
급팽창 이론
가속 팽창
강력, 매개 입자
쿼크
렙톤



확인하기

1 행성의 긴반지름과 주기와는 어떤 관계가 있는가?

2 특수 상대론에서 필요한 가설 두 가지는 무엇인가?

3 움직이는 물체의 길이와 시간은 정지한 사람에게는 어떻게 달라져 보이는가?

4 일반 상대론에서 필요한 두 가지 가설은 무엇인가?

5 중력 렌즈에서 원 모양의 상이 생기기 위한 조건은 무엇인지 설명하라.

6 블랙홀은 왜 검다고 하는지 그 까닭을 설명하라.

7 대폭발 우주, 급팽창 우주, 가속 팽창 우주의 차이점을 설명하라.

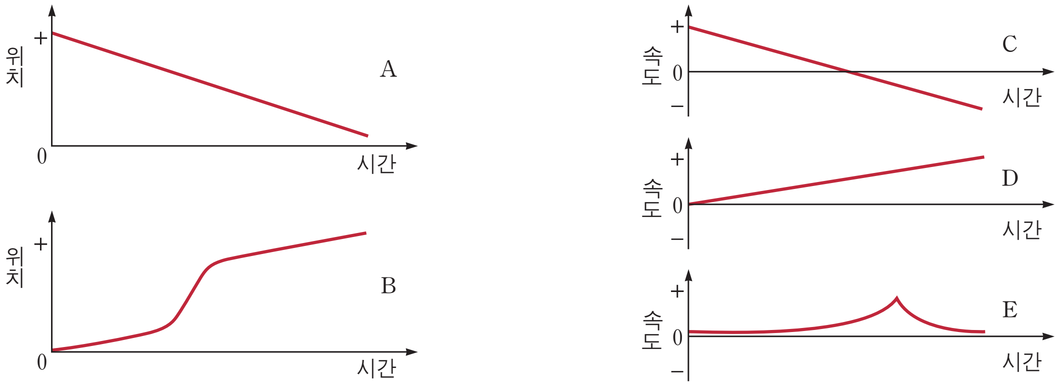
8 허블의 법칙에서 나오는 허블 상수가 상수가 아닌 까닭을 설명하라.

9 네 가지 기본 상호 작용을 거시적인 범위에서 세기의 순서대로 말하라.

10 중성자와 중간자는 각각 몇 개의 쿼크로 이루어져 있는가?

단원 평가

1 다음 각 물체의 운동을 설명하라.



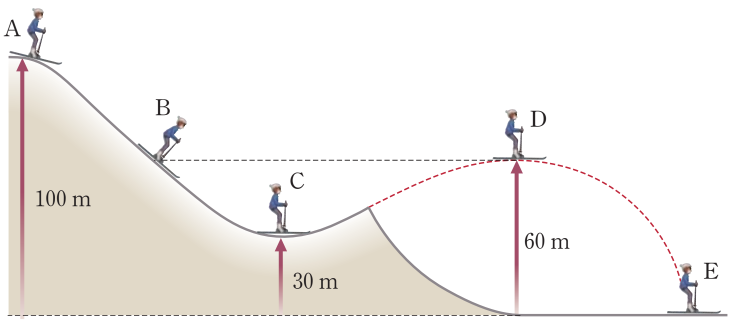
2 질량이 0.8 kg인 고무공을 10 m 높이에서 바로 아래 운동장 바닥으로 떨어뜨렸다. 단 공기 저항은 무시한다.

(1) 바닥에 닿기 직전의 공의 속도는 얼마인가?

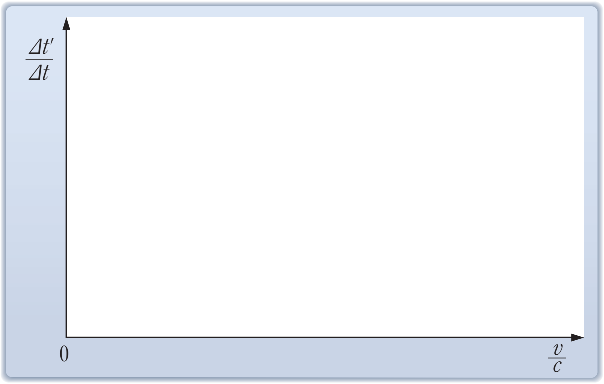
(2) 튕긴 직후의 공의 속도는 위쪽 방향으로 4 m/s였다. 운동장 바닥 때문에 생긴 고무공의 운동량 변화량은 얼마인가?

(3) 이 과정에서 운동장 바닥이 받은 충격량의 크기는 얼마인가?

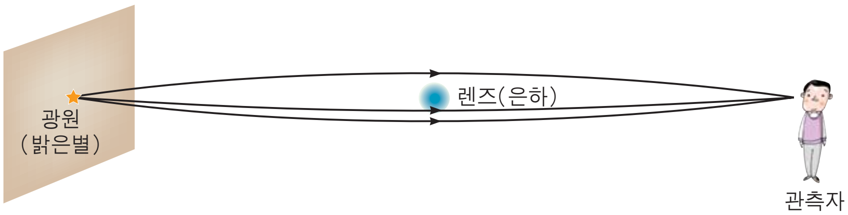
3 다음 그림은 50 kg의 질량을 가진 사람이 스키를 타고 내려오는 경로를 나타낸 것이다. 각 위치에서의 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 값을 구하여라. 단 마찰력과 공기 저항은 무시한다.



4 움직이는 관측자의 고유시간 Δt을 정지 관측자가 측정하면 그 시간 $\Delta t'$은 더 길다. 움직이는 관측자의 속도 v에 따른 관측 시간 비율을 그래프로 그려라.



5 다음 그림과 같이 거대 은하가 중력 렌즈 역할을 하는 경우에 관측자가 보는 광원에 대한 상의 위치를 점선으로 표시된 스크린 위에 관측자의 시선과 함께 표시하라.



6 다음은 기본 입자의 표준 모형을 표로 나타낸 것이다. 빈칸을 채워라.

구분	물질의 구성 입자			매개 입자	관련 기본힘
쿼크	u	c	t	(1)	전자기력
	d	s	b	g	(4)
렙톤	ν_e	ν_μ	ν_τ	Z	(5)
	e	(2)	(3)	W	(6)

단원 마무리

창의력 평가

1 우리가 겪는 시간의 방향은 과거로부터 현재를 지나 미래를 향하는 한 방향이다. 따라서 시간 축은 공간을 구성하는 공간 축과는 성질이 다르다. 만일 시간도 공간처럼 어느 방향으로든지 이동이 가능하다면 어떤 일이 일어날 수 있는지 상상력을 동원하여 설명하여 보자.

2 물체의 가속도 방향은 물체의 운동의 변화 방향과 같다. 운동하고 있는 물체의 가속도 방향을 볼 수 있는 기구를 고안하여 보자.

3 우리 태양계에서 가장 가까운 별은 프록시마 센타우루스 자리에 있는 알파별로 약 4광년 떨어져 있다. 1광년은 초속 30만 km인 빛이 1년 동안 달려간 거리로 대략 10조 km 정도 된다. 현재 제일 빠른 로켓은 1초에 20 km를 날아간다고 한다.

(1) 만일 이 로켓을 타고 알파별로 여행하고 돌아오려면 몇 년이 걸릴까?

(2) 우리가 살아있는 동안 알파별에 갔다 올 수 있을까? 만일 그렇지 않다면 어떻게 과학적으로 해결할 수 있는지 설명하여 보자.

과학 글쓰기

❖ 다음 글은 우주여행에 관한 글이다.


Crew Space Transportation－100

미국의 대형 항공 업체 보잉이 우주여행 사업에 본격적으로 뛰어든다.

'뉴욕타임스' 등 미국 언론은 "항공 산업의 거대 기업인 보잉이 2015년부터 세계 최초의 상업용 우주 비행 전문 여행사인 '스페이스 어드벤처스'를 통해 우주여행 상품을 팔기로 합의했다."고 일제히 보도하였다.

이번에 판매되는 상품은 보잉이 개발 중인 7인승 저궤도 우주 비행선 'CST－100을 타고 우주 정거장(ISS)에 들려 며칠을 보낸 뒤 다시 지구로 귀환하는 것이다. 상업용 우주여행은 2001년 미국인 데니스 티토가 처음 시도한 뒤 지금까지 7명이 이용했지만, 모두 보잉의 제품이 아닌 러시아 우주선 소유즈를 통해 이뤄졌다. 보잉이 개발 중인 우주선의 좌석은 7석이지만, 승무원의 수가 4명이기 때문에 한번에 우주로 떠날 수 있는 최대 승객은 3명이 된다.

보잉이 판매하는 우주여행의 가격은 캐나다의 억만장자 기 라리베르테가 지불한 4000만 달러보다는 떨어질 전망이다. 에릭 앤더슨 스페이스 어드벤처스의 최고 경영자는 "우리는 앞으로도 가격을 더 떨어뜨릴 수 있게 되길 바란다."고 말하였다.

한편, '로스앤젤레스타임스' 등 미국 언론은 "보잉의 이번 결정은 오바마 행정부의 변화된 우주 전략과 맥을 같이하는 것"이라는 분석을 쏟아냈다. 오바마 행정부는 최근 미 항공우주국(NASA)이 우주 비행 사업을 한동안 접고 우주 연구에 치중하도록 전략을 수정하였다. 미 정부는 보잉과 같은 민간 업체가 나사에 운송 서비스를 제공하고, 남는 자리를 일반 관광객들에게 판매해 수익을 얻게 하겠다는 뜻으로 풀이된다.

－ ○○ 신문, 2010년 9월 16일 －

1 인터넷을 비롯한 여러 자료 조사를 통하여 세계의 우주 개발 및 우주여행의 역사를 알아보자.

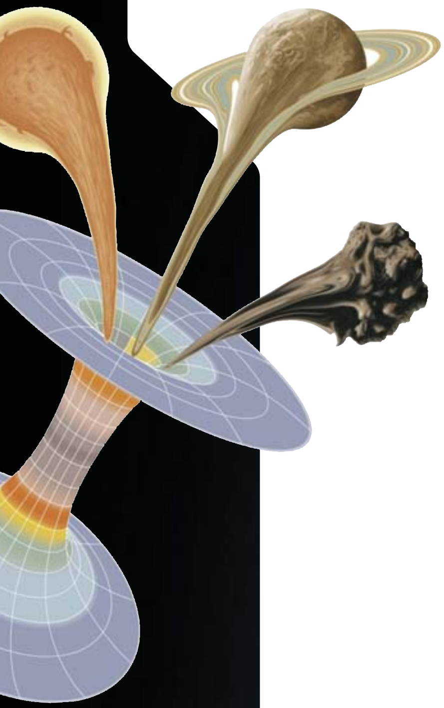
2 우리나라의 우주 개발 역사를 알아보고, 세계 수준과 비교하여 어느 수준인지 가늠하여 보자.

3 우주 개발과 개인 우주여행이 가지는 의미를 국가적인 면과 국제적인 면에 긍정적으로 영향을 주는지, 부정적인 면으로 영향을 주는지 친구들과 토론하여 그 결과를 글로 써보자.

스티브 호킹은 어떤 사람인가?

스티븐 윌리엄 호킹은 지난 40여 년 동안 가장 유명한 영국의 이론 물리학자이자 우주론자이다. 왕립 협회 명예 연구원과 교황의 과학 아카데미의 평생회원으로 활동 중이며 2009년 미국에서 민간인에게 수여하는 최고의 훈장인 자유의 대통령 메달을 수상했다. 30년간 케임브리지 대학에서 수학의 Lucasian 교수직을 역임하였으며 현재 캠브리지 대학교에서 겸임 교수로 재직 중 이다. 그는 블랙홀과 관련된 우주론과 양자 중력장에 대한 많은 업적을 쌓은 것으로도 유명하다. 또한 일반 대중을 위하여 자신의 이론과 우주론에 대해 설명함으로써 인기 있는 과학 저서를 출간했다. 영국 썬데이 타임스의 베스트셀러 목록에 237주 동안 있었던 것이 이를 증명해주고 있다.





호킹의 어릴 적 스티븐 호킹은 생물학자인 프랭크 호킹 박사와 이소벨 호킹 사이에서 1942년 1월 8일 태어났다. 항상 과학에 관심이 많았던 호킹은 수학 교사에게 영감을 받아 옥스퍼드 대학에서 수학을 공부하고 싶었으나 당시 수학과에 기금이 없어 장학금을 받을 수 있는 물리학을 전공 했다. 재학 기간 동안 열역학, 상대성 이론, 양자론에 관심을 가지고 공부했으며 1962년에 옥스퍼드 대학에서 학위를 받은 후 이론 천문학과 우주론에 대해 연구하기 위해 캠브리지 대학교 대학원에 진학하였다.

루게릭병 캠브리지에 도착하자마자, 그는 루게릭병(근육이 위축되는 병)이 점차 발병하기 시작하였다. 그는 처음 2년 동안은 절망하였지만 그의 박사 과정 지도 교수인 데니스 윌리엄 샤머의 도움으로 안정을 찾기 시작하였다. 이후 루게릭병으로 인한 어려움의 증가에도



불구하고 1965년 박사 학위를 받았다. 이후 1974년도에는 병이 심해져서 식사도 스스로 할 수 없게 되었으며 침대에서 나가지도 못했다. 1985년 폐렴을 앓은 후에는 전혀 말도 할 수 없게 되자 자신의 몸의 작은 움직임으로 컴퓨터에 기록하고 음성을 합성하여 입력된 것을 말할 수 있는 장치를 만들었다.

연구 분야 호킹의 연구 분야는 우주론과 통일장(양자 중력)이론이다. 1960년대 후반, 그는 캠브리지에서 Penrose와 같이 특이점 정리에 관하여 이론을 정립하였고 이들이 우주가 시작할 때 나타나야 함을 입증하였다. 이후 블랙홀에 대한 무모 정리를 완성한다. 또한 빅뱅 후, 원시미니 블랙홀이 형성되었다는 가설을 제안했다. 그는 1974년에 바딘과 카터와 함께, 블랙홀에 대한 열역학 비유 법칙을 만들고, 양자론을 도입하여 블랙홀이 에너지를 배출하여 증발할 것이라고 예언했다.

종교 그는 초기에 신의 존재를 제안했으나 2010년 9월 최신 도서 "위대한 설계"에서 신에 대한 존재를 부정하기 시작하였다. 우주 스스로 중력과 같은 과학의 법칙에 의해 결정되었다고 생각한 그는 우주 스스로 무에서 자신을 창조하였다고 진술함으로써 언론의 관심을 끈바 있다.

스티븐 호킹은 노벨상을 받을 수 있을까? 이제까지 노벨상을 수여한 기록을 보면 불문율로 내려오는 기준이 있다. 그 불문율의 첫 번째는 반드시 검증이 된 업적을 쌓은 사람에게만 수여한다는 것이다. 그럴듯한 이론만으로는 자격이 부족한 것이다. 우리가 잘 알고 있는 아인슈타인의 경우에도 상대성 이론이 당시에는 큰 반향을 일으켰지만 노벨상 선정 위원회는 그의 수상 업적을 상대성 이론이 아닌 광전 효과로 결정했다는 것을 보면 잘 알 수 있다. 호킹의 업적은 검증하기가 어려운 부분이 많다. 신체적 제약으로 머릿속에서만 이론을 전개하고 연구를 수행해 실제로 실험이나 관측으로 밝히기 어렵다. 불문율의 두 번째는 죽은 사람에게는 수여를 하지 않는다는 것이다. DNA 나선형 모형으로 유명한 왓슨과 크릭에게 많은 영향을 주었던 로자린 프랭클린은 일찍 사망하여 기회를 놓쳤다.



Ⅱ 물질과 전자기장





맥스웰은 전기장과 자기장의 개념을 이용하여 지금의 전자기학이라는 학문을 완성하였다. 전자기학은 현재 라디오와 텔레비전, 컴퓨터 및 휴대 전화 등 많은 기술 영역에서 중요하게 활용되고 있는 학문이다. 따라서 전자기학의 기본 개념을 이해함으로써 현재 우리가 사용하는 많은 전자 장치의 동작 원리를 이해할 수 있으며, 물질의 여러 가지 전기·자기적 특성도 이해할 수 있게 된다.

▲ 미국 페르미 연구소의 입자 가속기

1 전자기장







자석 위에 철가루를 뿌리면 아주 멋진 규칙적인 모양을 나타낸다. 그것은 자석 주위에 생기는 자기장 때문이다. 자석 6개를 가까이 놓고 철가루를 뿌렸더니 그림처럼 나타났다. 이 그림을 보면 6개 자석 주위에 형성된 자기장의 모습을 추리할 수 있다. 자기장의 세기가 어디가 강하고 어디가 약한지를 알 수 있다.

자석 주위에 자기장이 형성되듯이 전하 주위에는 전기장이 형성된다. 그리고 자기장과 전기장은 깊은 관련이 있다. 이 장에서는 전기장과 자기장의 성질, 그리고 이들의 관계에 대해 알아본다.

생각 열기

다음 그림은 머리카락이 어떤 힘에 의해 위로 솟구쳐 있는 모습이다. 바람이 불지 않았는데도 일어난 이 현상은 어떻게 해서 발생하게 된 것일까? 지금 답할 수 없더라도 이 장을 모두 학습하면 이 현상의 원인을 설명할 수 있게 될 것이다.





1 전기장과 전기력선

학습 목표

1. 전하 주위에 전기장이 발생함을 안다.
2. 전기력선의 개념을 이해한다.
3. 전하 주위에 발생하는 전기장을 전기력선으로 나타낼 수 있다.

전하 주위에 다른 전하를 가까이하면 두 전하가 접촉하지 않아도 전기력이 작용한다. 전기력이 영향을 미치는 공간은 어떤 성질을 갖고 있으며, 이를 눈으로 볼 수 있는 전기력선으로 어떻게 나타낼 수 있는지 알아보자.

1. 전하와 전기력

전하의 존재와 특성은 전하를 직접 보고 아는 것이 아니라 전하가 존재함으로써 나타나는 물리적인 현상을 통하여 간접적으로 알게 되었다. 대전되어 있는 물체 주위로 다른 대전체를 가까이하면 서로 힘을 받는다. 전기력은 전하가 원인이 되어 작용하는 힘이다.

다음 탐구를 통해 같은 전하로 대전된 대전체 사이에는 어떤 힘이 작용하는지 알아보자. 또 대전체 사이의 거리에 따라 힘의 크기가 어떻게 되는지 알아보자.

탐구 1 해 보기 **마찰 전기**

준비물 음료수 빨대, 고무 지우개, 핀, 털가죽

과 정

1. 음료수 빨대를 털가죽으로 문지른 다음, 작은 힘으로도 자유로이 회전할 수 있게 핀에 꽂아 고무 지우개에 끼운다.
   주의 핀에 손이 찔리지 않도록 주의한다.
2. 다른 빨대를 털가죽으로 문지른 다음 핀에 꽂힌 빨대에 가까이한다.
   ⇨ 핀에 꽂힌 빨대는 어떻게 되는가?
3. 이 빨대를 핀에 꽂힌 빨대에 더 가까이한다.
   ⇨ 핀에 꽂힌 빨대는 어떻게 되는가? 또, 가까이 가져갈수록 빨대가 움직이는 정도는 어떠한가? 그렇게 되는 까닭은 무엇이라고 생각하는가?



정 리

1. 같은 전하를 띤 대전체들은 어떤 힘을 받는지 생각하여 보자.
2. 두 전하 사이의 거리에 따라 작용하는 힘은 어떻게 달라지는지 생각하여 보자.

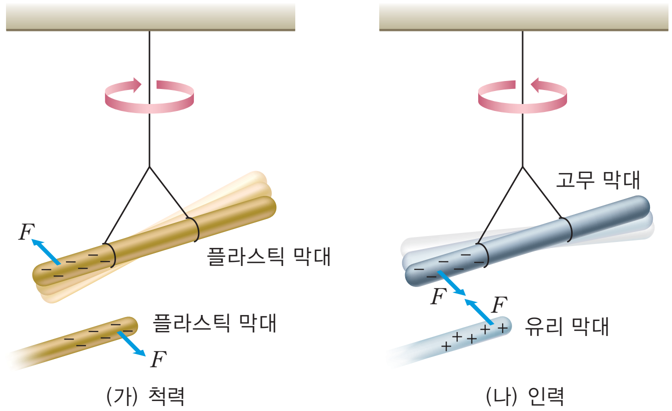


그림 Ⅱ-1 전하 사이에 작용하는 힘

탐구 1에서와 같이 같은 종류의 전하를 띤 물체 사이에는 서로 미는 척력이 작용한다. 그러나 전기력은 척력으로만 작용하는 것은 아니다.

예를 들어, 그림 Ⅱ-1의 (가)와 같이 털가죽으로 문지른 두 개의 플라스틱 막대를 가까이하면 서로 미는 힘이 작용하지만, 그림 (나)와 같이 명주 헝겊으로 문지른 고무 막대와 유리 막대는 서로 끌어당긴다.

이와 같이 전기력은 척력 혹은 인력으로 나타나는데 이것은 전기력의 원인이 되는 전하의 종류가 두 가지이기 때문이다.

이 두 가지 종류의 전하를 구분하기 위해서 한 가지를 (+)전하 혹은 양전하라 하고, 다른 한 가지를 (−)전하 또는 음전하라고 한다.

연구 1. 물체가 오직 한 종류의 전하만 띠게 된다면 어떻게 될까? 우리 주변의 현상을 중심으로 발표하여 보자.

전하들 사이에 작용하는 전기력의 크기는 1785년 물리학자 쿨롱에 의해 처음으로 정밀하게 측정되었다. 쿨롱은 그림 Ⅱ-2와 같이 전하량이 Q, q인 전하가 거리 r만큼 떨어져 있을 때 전하들 사이에 작용하는 전기력의 크기가 다음과 같음을 알아내었다.

$$F=k\frac{qQ}{r^2}$$

이것을 **쿨롱 법칙**이라고 한다. 여기서 k를 정전기력 상수 또는 쿨롱 상수라고 하며, 진공 중에서 그 크기는 다음과 같다.

$$k=9.0\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}$$

그런데 쿨롱 법칙은 놀랍게도 질량이 각각 M, m이고 거리가 r만큼 떨어진 두 입자 사이에 작용하는 힘에 대한 만유인력 법칙과 표현 형태가 유사하다.

$$F=G\frac{mM}{r^2}$$

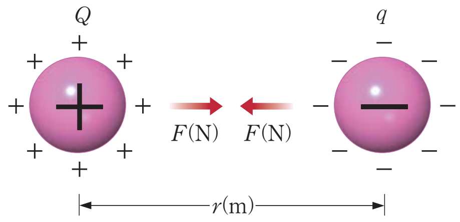


그림 Ⅱ-2 전기력의 크기

한편 전하량의 단위로는 C(쿨롬)을 사용하며, 1 C은 도선에 1 A의 전류가 흐를 때 그 도선의 단면을 1초 동안 지나가는 전하량이다. 또한 전하량의 최소 단위인 기본 전하량은 1917년 밀리컨에 의해 처음으로 측정되었으며, 기본 전하의 전하량 e는 다음과 같다.

$$\text{기본 전하량 } e = 1.6 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}$$

이 값은 전자 1개가 갖는 전하량의 크기이며, 모든 물체가 가지는 전하량은 기본 전하량의 정수배이다.



밀리컨(Millikan, R. A.; 1868～1953)

미국의 물리학자. 전자의 전하량을 측정하고, 광전 효과에 관한 정량적 연구에서는 플랑크 상수의 값을 구했다. 이 기본 전하량 및 광전 효과에 대한 연구로 1923년 노벨 물리학상을 받았다.

물음 1. 두 개의 양성자가 1×10^{-15} m 떨어져 있다면 이들 사이에 작용하는 전기력의 크기는 몇 N인가?(단, 양성자의 전하량은 1.6×10^{-19} C이다.)

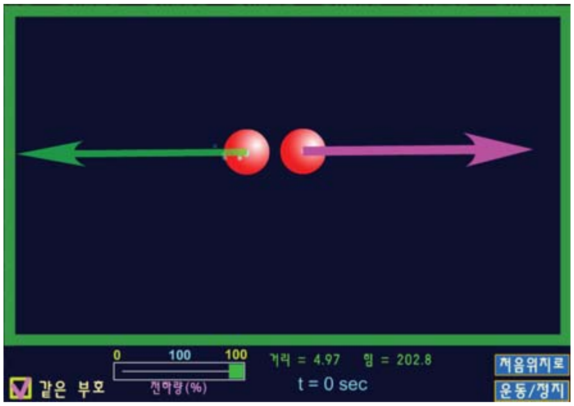
연구 2. 두 전하량의 크기와 두 전하 사이의 거리에 따라 전기력의 크기가 어떻게 변하는지 생각해 보자.

탐구 2 가상 실험 쿨롱의 전기력 측정

인터넷 http://www.scienceall.com

과 정 인터넷 사이트의 가상 실험에 있는 절차에 따라 전기력과 두 전하량 및 두 전하 사이의 거리의 관계를 알아보자.

1. 전기력의 크기가 두 전하량의 크기와 두 전하 사이의 거리에 따라 어떻게 변하는지 살펴보자.
2. 전하가 같은 부호일 때 전기력의 방향을 살펴보자.
3. 전하가 다른 부호일 때 전기력의 방향을 살펴보자.



정 리 1. 두 물체가 띤 전하의 종류와 전하량에 따라 작용하는 힘은 어떻게 되는지 설명하여 보자.
2. 두 전하 사이의 거리가 멀어질수록 작용하는 힘은 어떻게 되는지 설명하여 보자.

과학사

쿨롱 법칙 실험 이야기



쿨롱은 프랑스의 물리학자로 금속선의 탄성과 비틀림을 연구하던 중에 정밀한 비틀림 저울을 고안하여 그의 실험에 사용하였다. 그는 전하를 띤 두 물체 사이에 작용하는 힘을 측정하여 쿨롱 법칙을 발견하였다.

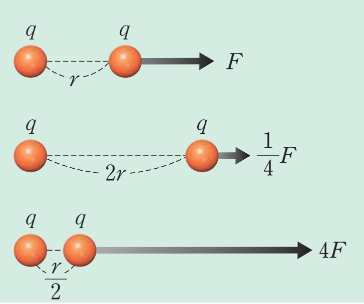
측정 방법은 같은 종류의 전하인 경우에는 두 전하를 가까이하였을 때 척력으로 비틀림 저울의 금속선을 비틀게 되므로 금속선의 복원력과 전하 사이 거리의 관계를 조사하여 전하 사이의 척력이 거리의 제곱에 반비례한다는 것을 발견하였다. 그러나 서로 다른 종류의 전하인 경우에는 인력이 작용하므로 비틀림 저울의 정역학적 균형을 이용한 이 방법으로는 효과적으로 실험할 수 없었다. 그래서 인력으로 회전 운동을 일으키고 그 감쇠도(진동 지속 시간)에서 인력의 크기를 구하는 동역학적 방법을 사용하여 인력과 척력이 모두 거리의 제곱에 반비례함을 실험적으로 규명하는 데 성공하였다.

2. 전기장과 전기력선

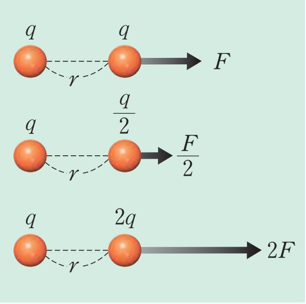
두 전하 사이에는 전기력이 작용한다는 것을 알았다. 그러면 서로 떨어져 있는 두 전하 사이에 작용하는 전기력을 어떻게 설명할 수 있을까?

그것은 전기장에 의해 설명할 수 있다. 공간에 한 전하를 놓으면 그 전하는 다른 전하에 전기력을 미칠 수 있는 전기장을 형성한다. 그러므로 한 전하에 의해 형성된 전기장 속에 다른 전하를 놓게 되면 그 전하는 전기력을 받게 된다.

탐구 2에서 알아본 바와 같이, 두 점전하 사이의 거리에 따라, 그리고 두 점전하의 전하량에 따라 전기력의 크기는 그림 Ⅱ-3과 같이 나타낼 수 있다.



(가) 두 전하 사이의 거리와 전기력



(나) 두 전하의 전하량과 전기력

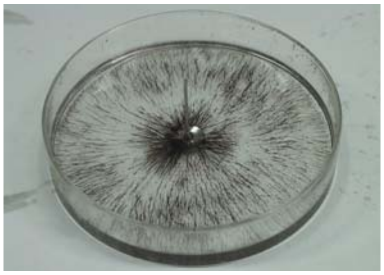
그림 Ⅱ-3 두 전하 사이의 전기력

전기장은 크기와 방향을 가진다. 전기장의 크기와 방향에 대해 다음 탐구를 통해 알아보자.

탐구 3 시범 **전기장**

- **준비물** 페트리 접시, 베이비 오일, 머리카락, 가는 막대 모양 전극, 사각형 판 모양의 전극, 집게 달린 도선, 직류 전원 장치(3000 V 이상의 고전압 저전류 전원 장치)

- **과 정**
1. 잘 씻은 머리카락을 잘게 자른다.
2. 페트리 접시에 베이비 오일을 넣고, 잘게 자른 머리카락을 띄운다.
3. 가는 막대 모양의 전극의 양 끝에 각각 3000 V 이상의 고전압, 저전류 전원 장치의 (+)극과 (−)극을 연결한 다음, 그림 (가)와 같이 수직으로 세운 후 머리카락 조각들의 배열된 모양을 관찰한다.
   ⇨ 머리카락 조각들이 배열된 모양은 어떠한가?
   ⇨ 배열된 머리카락 조각들을 이어서 선으로 나타내 보자.
   주의 고전압 장치에 의해 감전이 되지 않도록 특히 주의한다.
4. 그림 (나)와 같이 판 모양의 전극의 양 끝에 각각 전원 장치의 (+)극과 (−)극을 연결한 다음, 옆으로 세운 후 머리카락 조각들의 배열된 모양을 관찰한다.
   ⇨ 머리카락 조각들의 배열된 모양은 어떠한가?
   ⇨ 배열된 머리카락 조각들을 이어서 선으로 나타내 보자.
   주의 실험 후 폐기물은 지정된 장소에 버린다.


(가)


(나)

- **정 리** • 머리카락 조각들의 배열 모양으로부터 전기장의 모양을 추리해 보자.



페러데이(Faraday, M.; 1791～1867)

영국의 물리학자. 전자기 유도를 발견하고, 전기 분해에 관한 패러데이 법칙을 세웠다. 저서에 "전기의 실험적 연구", "양초의 과학" 등이 있다.

탐구 3에서 베이비 오일에 전기장을 걸어 주었을 때, 잘게 자른 머리카락들이 규칙적으로 늘어서는 것을 볼 수 있다. 이렇게 머리카락이 늘어선 모양을 보면 전기장이 어떤 모양으로 형성되었는지를 알 수 있다.

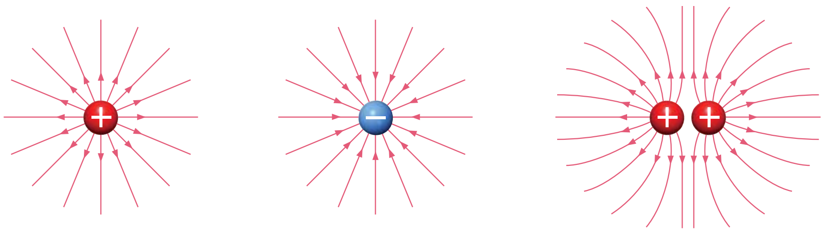

(가) (+)전하 (나) (−)전하 (다) (+), (+)전하

그림 Ⅱ-4 점전하가 만드는 전기장

패러데이는 전기장을 나타내기 위해 **전기력선**을 사용하였으며, 이 방법은 지금도 널리 사용되고 있다. 전기력선은 (+)전하에서 나오고 (－)전하로 들어가는 모양으로 화살표를 이용하여 나타내며, 중간에 끊어지거나 나누어지거나 교차하지 않는다. 이때 화살표의 방향이 전기장의 방향이 된다. 이러한 방법으로 (+)점전하와 (－)점전하가 만드는 전기장을 각각 전기력선으로 나타내면 그림 Ⅱ－4와 같다. 그림에서 전기장이 2차원 평면으로 그려져 있지만 실제로 전기장이 형성되는 것은 입체적이다. 즉, 전하로부터 모든 방향으로 전기장이 형성된다.

탐구 4 해 보기 **비닐을 이용한 마찰 전기**

준비물 비닐, 털옷감, 가위

과 정
1. 약간 길쭉한 비닐을 길쭉한 방향으로 잘게 자른다.
2. 잘게 자른 비닐을 털옷감으로 몇 번 문질러 보자.
   ⇨ 비닐 조각들은 어떻게 되는가?
   ⇨ 여러 번 문지를수록 비닐 조각들의 간격이 어떻게 되는가?



탐구 4에서와 같이 비닐 조각을 문지르면 비닐에는 마찰 전기가 생겨 음전하를 띠게 된다. 음전하들에 의한 척력은 모든 방향으로 작용하는 것을 볼 수 있다.

전기력선을 이용하면 전기장의 세기를 알 수 있다. 다만 이 경우에 절대적인 크기는 알 수 없고 상대적인 크기만을 알 수 있다. 즉, 전기력선에 수직인 단위 면적을 지나가는 전기력선의 수를 비교하여 전기장의 세기를 비교할 수 있다. 단위 면적을 지나가는 전기력선의 수가 많을수록 전기장의 세기가 크다.

같은 크기의 (+)전하와 (－)전하가 일정 거리만큼 떨어져 있을 때의 전기력선의 모양은 그림 Ⅱ－5와 같다. 이 경우에 한 지점에서의 전기장의 방향은 그 지점에서의 전기력선의 접선 방향과 같고, 전기장의 세기는 그 지점의 단위 면적을 지나는 전기력선의 상대적인 수로 비교할 수 있다. 그러므로 그림 Ⅱ－5에서 보면 A 지점보다는 B 지점의 전기장의 세기가 더 크다는 것을 알 수 있다.

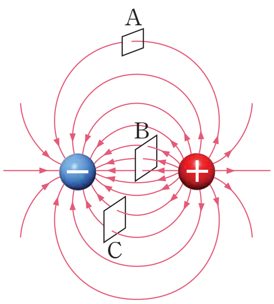


그림 Ⅱ－5 전기장의 세기 비교

물음 3. 그림 Ⅱ－5에서 C 지점은 A, B 지점과 비교할 때 전기장의 세기가 어떠한가?

전기장의 세기는 다음과 같이 정량적으로 알아볼 수 있다. 공간의 한 점에서의 전기장의 세기는 그 점에 $+q$의 전하를 놓았을 때 이 전하가 단위 전하당 받는 전기력으로 정의한다. 그러므로 전기장 내의 한 점에 놓여 있는 $+q$의 전하가 받는 힘이 F라면 전기장의 세기 E는

$$E=\frac{F}{q}$$

가 되고, 이때 전기장 세기의 단위는 N/C이다.

$+Q$로 부터 거리 r만큼 떨어진 곳에 전하 $+q$가 있을 때 두 전하 사이에 작용하는 전기력 F는

$$F=k\frac{Qq}{r^2}$$

이므로 $+q$가 있는 곳에서의 전기장의 세기 E는

$$E=\frac{F}{q}=\frac{kQ}{r^2}$$

가 된다. 따라서 점전하 Q로부터 r만큼 떨어진 곳에서의 전기장의 세기는 전하량에 비례하고, 거리의 제곱에 반비례한다.

예제 1

어떤 전기장 내의 한 점에 +3 C의 점전하를 놓았더니 12 N의 힘을 받았다. 이 지점의 전기장의 세기는 얼마인가?

해설 | 전기장의 세기는 $E=\frac{F}{q}$ 이므로 $E=\frac{12\text{ N}}{3\text{ C}}=4\text{ N/C}$

답 4 N/C

전기장 속에 전하가 놓였을 때 이 전하가 받는 힘의 방향은 어떻게 될까?

전하가 받는 힘의 방향은 전하가 어떤 종류인가에 따라 달라진다. $+Q$의 전하가 만드는 전기장 속에 $+q$의 전하가 놓여 있다면 척력이 작용하므로 $+q$ 전하는 $+Q$가 만드는 전기장의 방향과 같은 방향으로 힘을 받게 되고, 같은 전기장 속에 $-q$ 전하가 놓여 있다면 인력이 작용하므로 $+Q$가 만드는 전기장의 방향과 반대 방향으로 힘을 받게 된다.

물음 4. $-Q$의 전하가 만드는 전기장 속에 $+q$의 전하가 놓여 있다면 이 전하가 받는 힘의 방향은 어느 쪽인가?

물음 5. 탄소 원자핵으로부터 1×10^{-10} m 떨어져 있는 지점에서의 전기장의 세기는 몇 N/C인가?

2 정전기 유도

학습 목표

1. 전기장 내에 놓여 있는 도체에는 정전기 유도 현상이 발생함을 이해한다.
2. 전기장 내에 놓여 있는 부도체에는 유전 분극 현상이 발생함을 이해한다.
3. 정전기 유도와 유전 분극을 원자 모형으로 설명할 수 있다.



머리를 빗을 때 머리카락이 빗에 딸려 올라가고, 플라스틱 볼펜을 옷에 문지르고 종잇조각에 가까이 하면 종잇조각이 볼펜에 달라붙는다.

머리카락이나 종잇조각이 어떻게 빗이나 플라스틱 볼펜에 달라붙을 수 있을까?

1. 마찰과 대전

같은 종류의 전하들 사이에는 서로 밀어내는 전기력이, 다른 종류의 전하들 사이에는 서로 끌어당기는 전기력이 작용한다. 또한 이 전기력의 세기는 전하량의 크기에 비례한다. 따라서 전하를 띤 물체 사이에도 인력 혹은 척력이 작용하게 된다. 그렇다면 어떻게 물체가 양전하 혹은 음전하를 띨 수 있을까?

다음의 탐구를 통해 이를 알아보자.

탐구 5 시범 관찰 **마찰 전기**

준비물 비닐, 가위

과 정
1. 비닐을 가위로 잘게 자른다.
2. 여러 개의 비닐 조각을 손으로 문질러 보자.
   ⇨ 비닐 조각들은 어떻게 되는가?
3. 비닐 조각들을 손에서 떼어 내어 보자.
   ⇨ 비닐 조각들이 잘 떨어지는가?





비닐을 잘게 자르고 손으로 문지르면 비닐 조각들이 손에 붙어 잘 떨어지지 않는다. 이것은 비닐조각을 문지를 때 비닐과 손에 마찰 전기가 발생하기 때문이다.

이렇게 마찰 전기가 발생하는 까닭은 무엇일까?

원자 수준에서 보면 원자를 이루는 기본 입자들은 질량이 매우 작아서 그들 사이의 만유인력은 무시할 수 있다. 반면에 기본 입자들이 띠고 있는 전하들에 의한 전기력은 매우 커서 이 힘이 원자, 분자, 유체, 고체의 구조를 이루는데 결정적 역할을 하게 된다.

질량

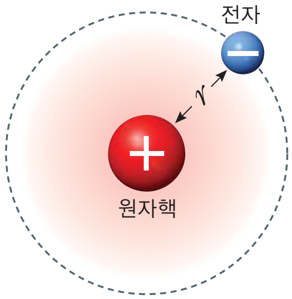
- 전자 $=9.1\times10^{-31}$ kg
- 양성자 $=1.7\times10^{-27}$ kg
- 중성자 $=1.7\times10^{-27}$ kg

전하량

- 전자 $=-1.6\times10^{-19}$ C
- 양성자 $=1.6\times10^{-19}$ C
- 중성자 $=0$ C

예제 2

수소 원자는 양성자 한 개와 전자 한 개로 되어 있어서, 원자들 중에서 가장 간단한 구조로 되어 있다. (+)전하를 띠고 있는 양성자와 (−)전하를 띠고 있는 전자는 평균적으로 5.3×10^{-11} m 떨어져 있다. 양성자와 전자 사이의 중력과 전기력의 크기를 비교해 보자. 여기에서는 오른쪽 그림과 같이 마치 지구 주위를 달이 도는 것처럼, 전자가 양성자 주위를 돌고 있다고 가정해 보자. 수소 원자의 좀 더 실질적인 모형은 후에 공부하게 될 것이다.



수소 원자의 단순한 구조 모형

해설 | 양성자와 전자 사이의 중력은

$$F_g=G\frac{m_1m_2}{r^2}=6.7\times10^{-11}\ \mathrm{N\cdot m^2/kg^2}\times\frac{(9.1\times10^{-31}\ \mathrm{kg})\times(1.7\times10^{-27}\ \mathrm{kg})}{(5.3\times10^{-11}\ \mathrm{m})^2}$$

$$=3.7\times10^{-47}\ \mathrm{N}$$

양성자와 전자 사이의 전기적 인력은

$$F_e=k\frac{q_1q_2}{r^2}=9.0\times10^{9}\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}\times\frac{(-1.6\times10^{-19}\ \mathrm{C})(1.6\times10^{-19}\ \mathrm{C})}{(5.3\times10^{-11}\ \mathrm{m})^2}$$

$$=8.2\times10^{-8}\ \mathrm{N}$$

$$F_e/F_g\fallingdotseq2\times10^{39}$$

답 전기력이 중력의 약 2×10^{39}배 크다.

위의 예제 2에서와 같이 전기력은 중력과 비교할 때 10^{39}배가 넘는 것을 알 수 있다. 그러므로 원자나 분자 세계에서 중력은 전기력에 비하여 무시할 수 있다.

전기적으로 중성이었던 한 원자가 어떤 작용에 의해 전자를 잃으면 (−)전하가 줄어들어 (+)전하를 띠게 되고, 전자를 얻으면 그 반대가 되어 (−)전하를 띠게 된다. 그러므로 전자를 잃은 물체는 (잃어버린 전자의 수) $\times e$만큼의 (+)전하를 띠게 되고 전자를 얻은 물체는 (얻은 전자의 수) $\times e$만큼의 (−)전하를 띠게 된다.

그러면 어떻게 전자가 한 물체에서 다른 물체로 이동할 수 있을까?

일반적으로 물체는 그림 Ⅱ-6과 같이 (+)전하의 수와 (−)전하의 수가 같으므로 전기적으로 중성을 띠게 된다. 하지만 두 물체를 서로 마찰시키면 일부의 전자가 한 물체에서 다른 물체로 이동하여 한 물체는 (+)전하를 띠게 되며, 또 다른 물체는 (−)전하를 띠게 된다. 이러한 과정을 통해 전기를 띠게 되면 마찰에 의해 대전되었다고 하고, 대전되어 전하를 띠고 있는 물체를 **대전체**라고 한다. 한편, 물체는 물체를 구성하는 물질에 따라 전하가 이동하기 쉬운 것도 있고 그렇지 않은 것도 있다.

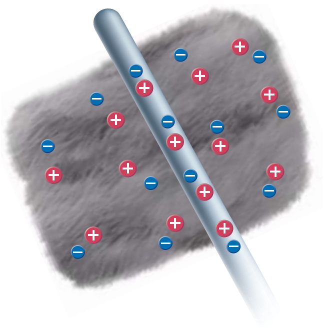


그림 Ⅱ-6 마찰 전기

따라서 이러한 성질에 따라 대전 현상도 달라지는데 전하의 이동이 어려운 유리나 고무 등과 같은 물질로 만들어진 물체는 마찰시킨 부분만 전하를 띠게 된다. 이와는 대조적으로 구리, 알루미늄, 은 등과 같이 전하가 이동하기 쉬운 물질로 만들어진 물체는 그 일부분을 마찰시켜 대전시켜도 전하들이 물체 전체에 분포하게 된다.

다음 탐구를 통해 도체의 대전과 전하의 이동에 대하여 알아보자.

탐구 6 실험 도체의 마찰

준비물 알루미늄 막대, 헝겊, 종잇조각, 셀로판 테이프

과 정

1. 알루미늄 막대에 헝겊을 씌우고 그 부분을 손으로 잡은 다음, 금속 부분에 셀로판테이프를 붙였다가 떼어보자.
2. 알루미늄 막대를 작은 종잇조각에 가까이 가져가 보자.
   ⇨ 종잇조각은 알루미늄 막대에 달라 붙는가?
3. 이번에는 알루미늄 막대에 손가락을 접촉시킨 다음, 종잇조각에 가까이 가져가 보자.
   ⇨ 종잇조각은 알루미늄 막대에 달라 붙는가?







정 리 위의 실험으로부터 무엇을 알 수 있는지 설명하여 보자.

금속 막대의 헝겊으로 싼 부분을 손으로 잡고 대전시킨 후 종잇조각에 가까이 가져가면 종잇조각이 끌려오지만 금속 막대에 손을 댄 다음, 종잇조각에 가까이 가져가면 종잇조각이 끌려오지 않는다. 그것은 금속 막대를 문지를 때 생긴 전하가 손을 통해 이동하였기 때문이다.



그림 Ⅱ-7 정전기 유도

2. 정전기 유도

그림 Ⅱ-7과 같이 대전된 플라스틱 막대를 알루미늄 포일 조각에 가까이 가져가면 알루미늄 포일 조각이 플라스틱 막대에 끌려오는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상이 일어나는 까닭은 무엇일까? 금속박 검전기의 예를 통해 이를 알아보자.

간단한 검전기는 그림 Ⅱ-8과 같이 금속판에 연결된 금속 막대에 마주 보고 매달려 있는 두 장의 금속박으로 구성되어 있다. 금속박은 유리 용기에 의해 외부로의 방전으로부터 보호되어 있다. 금속박이 대전 되어 있지 않을 때에는 금속박은 수직으로 바로 매달려 있다. 그러나 대전된 막대를 금속판에 가까이 가져가거나 접촉하면 금속박은 즉시 벌어지게 된다.

물음 2. 검전기의 금속판 가까이에 (+)전하를 띤 막대를 가까이 가져가면 금속박은 어떤 종류의 전하로 대전될까? 또, (−)전하를 띤 막대를 가까이 가져가면 금속박은 어떤 종류의 전하로 대전될까? 이와 같이 대전되는 까닭은 무엇일까?

전기적으로 중성인 물체에 대전체를 가까이할 때 먼쪽에는 대전체와 같은 종류의 전하가 유도되고, 가까운 쪽에는 대전체와 다른 종류의 전하가 유도되는 현상을 **정전기 유도**라고 한다.

도체에서의 정전기 유도

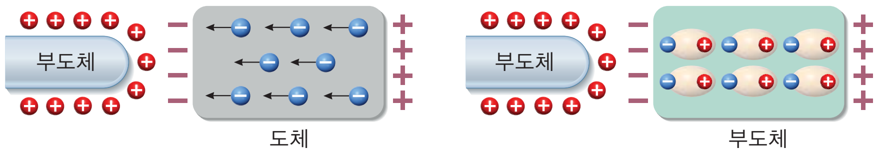
(+)로 대전된 부도체를 도체 가까이 가져가면 도체에는 정전기가 유도되어 도체와 부도체 사이에는 인력이 작용한다. 그러나 도체를 대전된 부도체와 접촉시키면 도체에 있던 (−)전하들이 부도체로 옮겨가 도체도 (+)전하를 띠게 되므로 이들 사이에 척력이 작용한다. 그림 Ⅱ-9의 (가)와 같이 대전된 부도체를 도체에 가까이하였을 때 도체에는 원자에 속박되지 않은 자유 전자들이 자유롭게 이동할 수 있어서 정전기 유도 현상이 생긴다.



그림 Ⅱ-8 대전된 검전기

부도체에서의 정전기 유도

부도체에는 자유 전자와 같이 자유롭게 이동할 수 있는 전하는 없지만 도체에서와



(가) 도체에서의 정전기 유도　　(나) 부도체에서의 정전기 유도(유전 분극)

그림 Ⅱ-9 도체와 부도체에서의 정전기 유도 현상

같이 표면에 전하가 유도되는 정전기 유도 현상이 나타난다. 종이와 같은 부도체에 대전체를 가까이 가져가면 그림 (나)와 같이 대전체의 전하가 만드는 전기장으로부터 원자 내의 전자들이 힘을 받아 평형점으로부터 조금씩 벗어난다. 이렇게 평형점에서 벗어난 전자는 원자에 정전기 유도와 같은 분극을 일으킨다. 그러나 부도체 내부의 인접한 분극들은 서로 중화되고 표면에만 전하가 유도된다. 이렇게 부도체에서 일어나는 분극 현상을 **유전 분극**이라고 한다.

? 물음 6. 도체와 부도체에서의 정전기 유도 현상의 차이점은 무엇인가?

검전기를 이용하면 대전체가 어떤 전하를 띠고 있는지와 띠고 있는 전하의 상대적인 크기를 알아낼 수 있다. 그 방법은 다음과 같다.

전하의 종류 조사

① (+)로 대전된 검전기에 (+)대전체를 가까이 가져가면 금속박은 더 벌어진다. 대전체의 전하량이 많을수록 금속박은 더 많이 벌어진다. 그러나 (−)대전체를 가까이하면 금속박은 오므라든다.



이렇게 되는 까닭이 무엇인지 생각하여 보자.

② (−)로 대전된 검전기에 (+)대전체를 가까이 가져가면 금속박은 오므라든다. 그러나 (−)대전체를 가까이 가져가면 금속박은 더 벌어진다. 금속박이 벌어지는 정도는 대전체의 전하량에 따라 달라진다.



이렇게 되는 까닭은 무엇인지 생각하여 보자.

검전기를 이용하지 않고도 정전기가 (+)전하를 띤 것인지 (−)전하를 띤 것인지 구별할 수 있다.

어떻게 구별할 수 있는지 다음 탐구를 통해 그 방법을 알아보자.

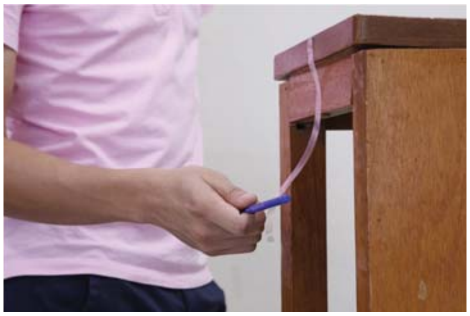
탐구 7 해 보기 **전하의 종류 구별하기**

준비물 셀로판테이프, 플라스틱 펜, 털옷 조각, 가위

과 정

1. 셀로판테이프를 15 cm 길이로 잘라낸다.
   ⇨ 셀로판테이프는 정전기를 띠고 있는가? 왜 그렇게 생각하는가?
2. 셀로판테이프를 책상 모서리에 붙인 다음, 가위의 금속 부분을 셀로판테이프에 가까이한다.
   ⇨ 셀로판테이프는 어떻게 움직이는가?
3. 이번에는 책상에 붙인 셀로판테이프에 대전시키지 않은 플라스틱 펜을 가까이한다.
   ⇨ 셀로판테이프는 어떻게 움직이는가?





4. 이번에는 책상에 붙인 셀로판테이프에 털옷 조각으로 마찰한 플라스틱 펜을 가까이하자.
   ⇨ 셀로판테이프는 어떻게 되는가?

정 리

1. 과정 2와 3의 결과로부터 무엇을 알 수 있는지 생각하여 보자.
2. 과정 4의 결과로부터 무엇을 알 수 있는지 생각하여 보자.

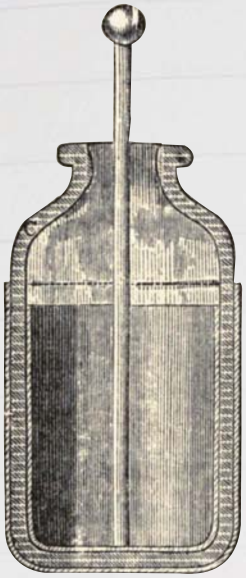
과학과 **생활**

번개



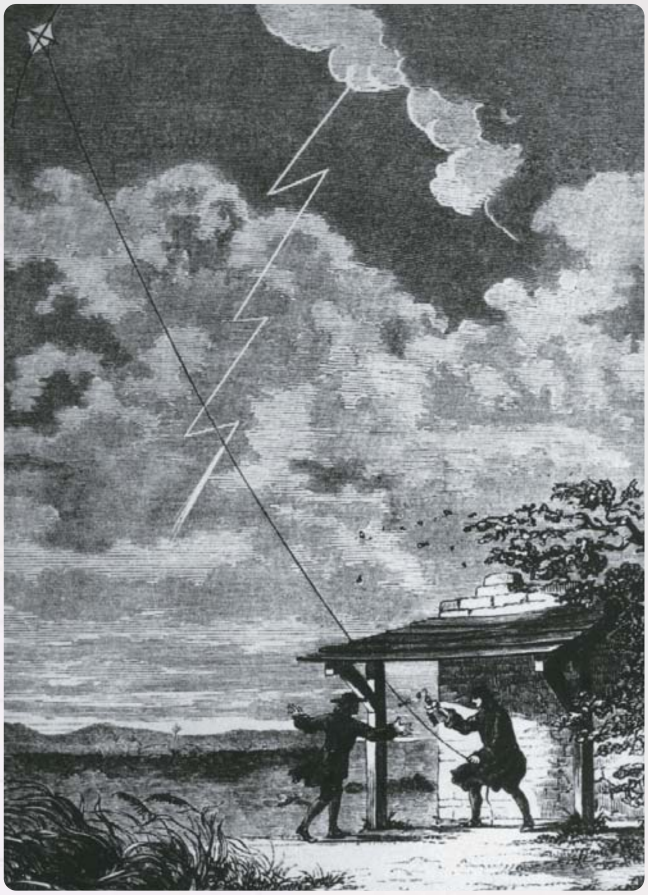
번개나 벼락은 정전기에 의해 일어나는 현상이다. 서로 반대 전하의 정전기를 띤 구름 덩어리들이 가까이 접근하게 되면 전하들 사이의 인력으로 아주 많은 전자가 순식간에 이동하는 현상이 일어날 수 있다. 이것이 번개 현상이다. 또, 정전기를 띤 거대한 구름이 지면 가까이 오게 되면 지면에는 정전기 유도에 의해 구름과 반대의 전하가 유도되고 이때에는 구름과 지면 사이에서 전자들이 순식간에 이동하는 현상이 일어나게 된다. 구름과 지면 위에 있는 물체 사이에서 밝은 빛과 천둥 소리를 동반하며 일어나는 전기적 현상을 벼락이라고 한다.

위험을 무릅쓰고 정전기 실험을 했던 과학자들



'라이덴병'의 안과 밖을 연결하는 회로를 만들면 전류가 흐른다. 그리고 그 회로 사이에 손가락이라도 넣게 되면 그 사람은 강한 전기 충격을 받게 된다. 유럽 전역에서 많은 사람이 '라이덴병'을 이용한 전기 실험을 곡마단처럼 보여주고 다니는 사람들이 있을 정도였다. 그 가운데 프랑스의 놀레 신부(1700~1770)가 있었다. 그는 동료 과학자 한 사람을 공중에 매달고, 전기로 대전시킨 다음, 자기의 손을 그의 얼굴에 가까이 접근시켰다. 그의 손이 매달린 사람의 얼굴에 가까워지자, 갑자기 '빠삭' 하는 소리가 나면서 두 사람은 모두 가벼운 아픔을 느꼈다. 밤에 이런 실험을 하면서 그의 손과 매달린 사람 사이에 방전 스파크가 튀는 모습을 보여주기도 하였다. 놀레는 프랑스 왕과 신하들이 지켜보는 가운데 180명의 근위병을 전기 충격으로 놀라게 하는 유명한 실험도 하였다. 근위병들이 서로 손을 잡고 둘러선 다음 한쪽 병사가 라이덴병의 한쪽에 손을 대고, 다른 쪽 끝의 병사는 다른 끝을 잡게 한 순간, 180명 모두가 깜짝 놀라 펄쩍 뛰었다는 것이다. 물론 전기 충격 때문이었다.

이런 과정에서 미국의 벤저민 프랭클린(1706~1790)도 전기 연구에 뛰어들게 된다. 프랭클린은 특히 연의 실험으로 유명하다. 1752년 6월 어느 날 프랭클린은 아들을 데리고 들판의 오두막집으로 갔다. 때마침 날씨는 잔뜩 찌푸려 있어 당장 번개라도 칠 것 같은 날씨였다. 여기서 그는 아들만 데리고 연을 올렸다. 연줄은 물에 젖어 전기를 통해주고 있으니까, 그 끝에는 쇠고리를 달아두었다. 그리고 그 전기가 바로 자기 손에 전해지지 않게 하려고 젖지 않은 명주 헝겊을 그 끝에 달고, 오두막집 안에서 그 헝겊 끝을 쥐고 있었다. 자기의 손을 쇠고리에 가까이하면 구름 속의 전기가 내려와 있다가 손끝에서 방전하여 스파크를 일으키는 것이 느껴지고 관찰될 것으로 생각했던 것이다. 예상대로 그는 그 실험에 성공하여 번개가 전기라는 사실을 증명할 수 있었다. 이 실험들은 모두 생명을 잃을 수도 있는 위험한 실험들이었다.





3 전류에 의한 자기장

학습 목표

1. 전류 주위에 자기장이 발생함을 안다.
2. 자기력선의 개념을 이해한다.
3. 자석과 전류 주위에 발생하는 자기장을 자기력선으로 나타낼 수 있다.

1820년 외르스테드는 강의 시간에 전류의 효과를 학생들에게 설명하려고 긴 도선과 전지로 이루어진 회로의 스위치를 닫았더니 옆에 있던 나침반 바늘이 움직이는 것을 발견하였다. 나침반의 바늘이 움직인 것은 어떤 까닭에서 일까? 도선에 전류가 흐르는 것과 나침반 바늘이 움직이는 것과는 어떤 연관성이 있을까?

도선에 전류가 흐를 때, 나침반 바늘이 움직인다는 것은 전류가 흐르는 도선 주위에 자기장이 생긴다는 것을 나타낸다. 이러한 자기장은 어떻게 형성되는지 알아보자.

1. 자석과 자기장

가정이나 학교에 있는 자석 몇 개를 수집해서 몇 가지 간단한 실험을 하면 자석에 대한 기본 성질을 알 수 있다. 자석은 철, 니켈, 코발트로 된 물체들을 잘 끌어당긴다. 또, 막대 자석의 중심에 실을 매달아 자유롭게 회전할 수 있게 하면 한끝은 대략 지구의 북극을 향하고, 다른 끝은 대략 지구의 남극을 향하여 정지한다.

지구의 북극을 향하여 끝을 N극, 남극을 향하는 끝을 S극이라고 한다. 자석은 서로 같은 극끼리는 밀고, 서로 다른 극끼리는 끌어당기기 때문에 지구의 북극은 실제로는 S극이고 남극은 N극에 해당된다. 자석의 극 사이에는 **자기력**이 작용하며, 이 힘은 전하 사이에 작용하는 힘과 같이 인력과 척력이 있다.

탐구 8 해 보기 **고무 자석의 극 찾기**

준비물 고무 자석, 유리나 플라스틱 또는 종이, 철가루

과 정

1. 고무 자석 위에 유리나 플라스틱 또는 종이를 얹고 그 위에 철가루를 뿌려본다.
   ⇨ 어느 부분이 극 부분인가?
   ⇨ N극과 S극을 구분해 보자. 어떻게 하면 되겠는가?
2. 고무 자석 2개를 넓은 면이 서로 맞닿도록 겹쳐 놓은 다음, 하나를 천천히 당겨보자.
   ⇨ 일정한 속력으로 잡아 당길 때 작용하는 힘의 크기는 일정한가?



자석의 N극과 S극 사이에 힘이 작용하는 것은 어떻게 설명할 수 있을까?

전하를 띤 대전체 사이에 전기력이 작용하는 것을 전기장으로 설명하듯이 자기력은 자석의 두 극이 형성하는 자기장으로 설명할 수 있다.

다음 탐구를 통해 자석이 만드는 자기장에 대해 생각하여 보자.

탐구 9 해 보기 **자석이 만드는 자기장**

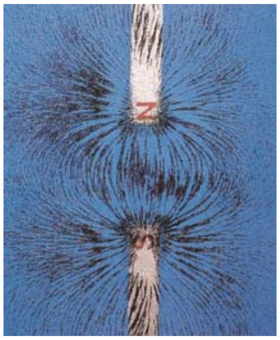
- **준비물** 막대 자석, 얇은 유리판, 철가루, 셀로판테이프

- **과 정**
  1. 그림 (가)와 같이 자석 위에 유리판을 얹고 자석 주위에 철가루를 뿌려보자.
  2. 그림 (나)와 같이 두 개 자석의 N극과 S극을 마주 보도록 셀로판테이프로 유리판 아랫면에 고정하고 유리판 위에 철가루를 뿌려보자.
  3. 그림 (다)와 같이 두 개 자석의 N극과 N극을 마주 보도록 셀로판테이프로 유리판 아랫면에 고정하고 유리판 위에 철가루를 뿌려보자.

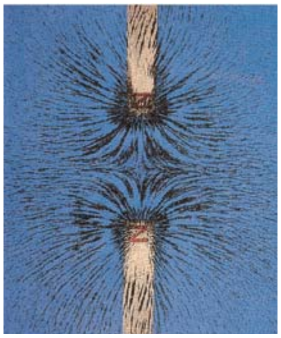
     ⇨ 막대 자석의 중간 부분을 잘라 서로 마주 보도록 고정하고 철가루를 뿌리면 어떤 모양이 될지 예상해 보자.



(가)



(나)

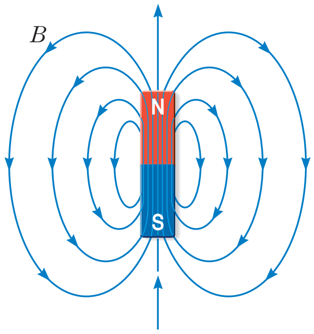


(다)

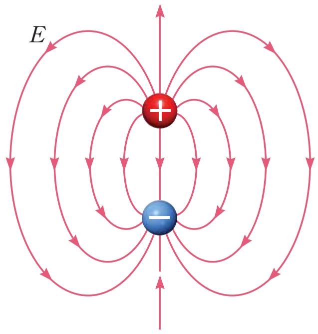
(+)전하나 (−)전하에 의한 전기장을 전기력선으로 나타낸 것처럼 N극과 S극에 의한 자기장을 나타내기 위해 자기력선을 생각해 볼 수 있다.

자석은 어떤 거리만큼 떨어져 있는 반대의 두 극을 갖는 구조로 이루어져 있다. 자석을 둘로 쪼개도 언제나 또다시 두 개의 자석이 만들어진다. 즉, 자석은 언제나 N극과 S극이 동시에 존재한다.

그림 Ⅱ-10의 (나)와 같이 전기력선은 양전하에서 시작하여 음전하로 끝난다. 마찬가지로 자기력선도 그림 Ⅱ-10의 (가)와 같이 N극에서 시작하여 S극으로 들어가는 방향으로 나타낸다. 그러나 전기력선과는 달리 끊어지지 않고 자석 내부에서도 이어진다. 또한 자기력선의 임의의 한 점에 접하는 접선의 방향은 그 점에서 자기장의 방향이며, 자기력선은 도중에 갈라지거나 교차되지 않는다. 그리고 자기장의 세기는 자기력선의 간격이 좁은 곳일수록 세며, 간격이 넓을수록 약하다.



(가) 막대 자석 주변의 자기력선



(나) (+), (−)전하에 의한 전기력선

그림 Ⅱ-10 막대 자석의 자기력선과 (+), (−)전하의 전기력선

전하에 의한 전기장이 모든 방향으로 형성되듯이 자석에 의한 자기장도 평면적으로 형성되는 것이 아니라 실제로는 모든 방향으로, 즉 3차원적으로 형성된다.

그림 Ⅱ-11은 자석 주위에 철가루가 늘어선 모습을 보여준다. 이 그림을 통해 자석에 의한 자기장이 3차원적으로 형성되어 있는 것을 알 수 있다. 이것은 지구 자기장이 그림 Ⅱ-12와 같이 3차원적으로 형성되는 것과 마찬가지이다.



그림 Ⅱ-11 3차원 자기장

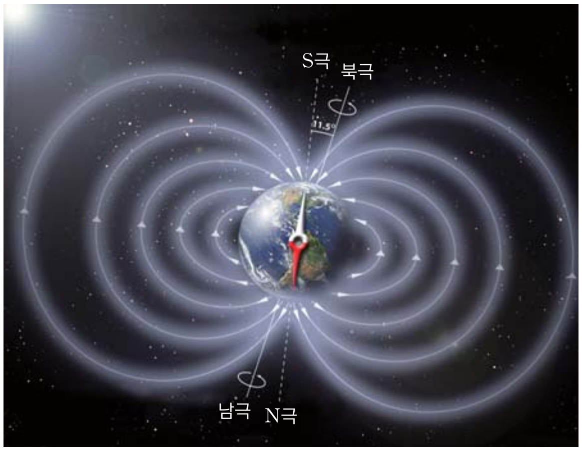


그림 Ⅱ-12 지구 자기장

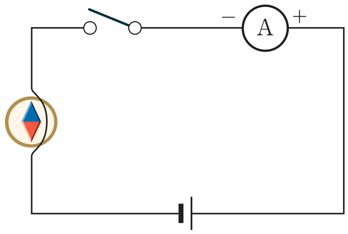
2. 전류에 의한 자기장

과학자들은 전기 현상과 자기 현상 사이의 유사성으로부터 전기와 자기 사이에는 어떤 밀접한 관계가 있을 것이라는 추측은 하고 있었다. 하지만 그 관계를 1820년까지는 발견하지는 못하다가 결국 외르스테드에 의해 우연히 발견되었다. 왜 이러한 현상이 더 일찍 발견되지 않았는가는 전류에 의해 형성되는 자기장의 특이한 방향성 때문으로 이해될 수 있다.

다음 탐구를 통해 전류가 흐르는 도선 주위의 자기장의 방향과 크기에 대해 알아보자.

탐구 10 **실험** **전류가 흐르는 도선 주위의 자기장**

준비물 나침반, 9 V 건전지 또는 직류 전원 장치, 직선 도선, 집게 도선, 전류계



과 정 1. 오른쪽 그림과 같이 전기 회로를 만들고 도선 밑에 나침반을 놓자.
2. 전기 회로에 전류를 흐르게 하고 나침반 바늘을 관찰하여보자.
주의 도선이 너무 과열되지 않도록 주의한다.
3. 직선 도선과 나침반 바늘이 이루는 각도를 변화시키면서 나침반 바늘을 관찰하여 보자.

정 리 1. 어느 경우에 나침반 바늘이 움직이는 것을 관찰할 수 있는가?
2. 바늘이 움직이는 방향은 전류의 방향과 어떤 관계가 있는가?



탐구 10에서와 같이 직선 도선을 이용하여 나침반 바늘이 최대로 돌아가는 경우는 전류가 흐르는 도선이 나침반 바늘과 일치되게 놓은 경우이다. 이렇게 전류가 흐르는 도선 주위에서 나침반 바늘이 편향되는 것은 전류 주위에 자기장이 생기기 때문이다.

3. 직선 전류에 의한 자기장

직선 전류가 흐르는 도선 주위에 그림 Ⅱ-13의 (가)와 같이 나침반을 놓으면 나침반의 바늘이 도선을 중심으로 하는 동심원의 원주를 따라 정렬한다. 이것으로부터 직선 전류가 흐르는 도선에 의한 자기장이 도선을 중심으로 하는 원 모양이라는 것

자기장의 세기 단위: T(테슬라)와 G(가우스)

T는 자기장의 세기에 대한 SI 단위이며, 1 T는 1 m^2당 1 Wb(웨버)의 자기력선이 지나가는 크기이다. 즉, 1 T=1 Wb/m^2이다. 이 단위의 명칭은 크로아티아 태생의 미국 전기공학자였던 테슬라(Tesla, 1870~1943)의 이름을 따서 지은 것이다. 여기서 Wb는 자기력선속의 단위이며, 1 Wb는 한 번 감은 코일에 1초 동안에 1 V의 기전력을 일으킬 수 있는 크기의 자기력선속이다.

을 알 수 있다. 또한 두 직선 도선 사이에 작용하는 자기력을 계산해 보면 도선 주위의 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류에 비례하고 거리에 반비례함을 알 수 있다. 이것을 **앙페르 법칙**이라고 한다. 그리고 자기장의 방향은 그림 (나)와 같이 오른나사의 진행 방향을 전류의 방향으로 할 때 나사가 회전하는 방향과 같다. 또는 그림 (다)와 같이 오른손 엄지손가락을 전류의 방향으로 향하게 하고 나머지 네 손가락을 감아쥘 때 네 손가락이 가리키는 방향이 자기장의 방향이다. 이것을 **오른나사 법칙**이라고 한다.

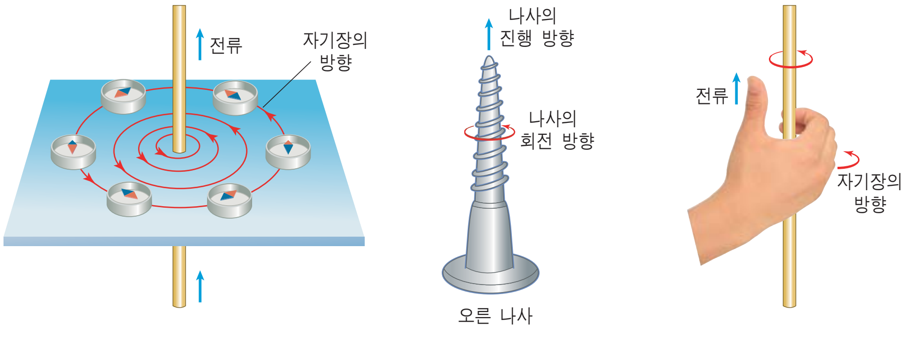


그림 Ⅱ-13 직선 전류 주위의 자기장

연구 3. 도선 주위에 나침반을 놓을 때, 전류가 세지 않으면 나침반은 동심원 방향으로 늘어서지 않는다. 그 까닭은 무엇인지 생각하여 보자.

긴 직선 도선의 경우 자기력선은 도선을 중심축으로 하는 원을 그리며 도선에 수직한 평면 내에 있다.

탐구 11 해 보기 우리 주변의 자기장 알아보기



- **준비물** 디지털 가우스미터, 스피커나 휴대 전화 등 전류가 흐르는 물체
- **과 정**
  1. 우리 생활에서 볼 수 있는 여러 가지 자석 주위의 자기장의 세기(B)를 디지털 가우스미터를 이용하여 측정해 보자.
  2. 스피커나 휴대 전화 등, 전류가 흐르는 물체 주변의 자기장의 세기(B)도 측정해 보자.

  ⇨ 각각의 경우 자기장의 세기(B)는 얼마인가?

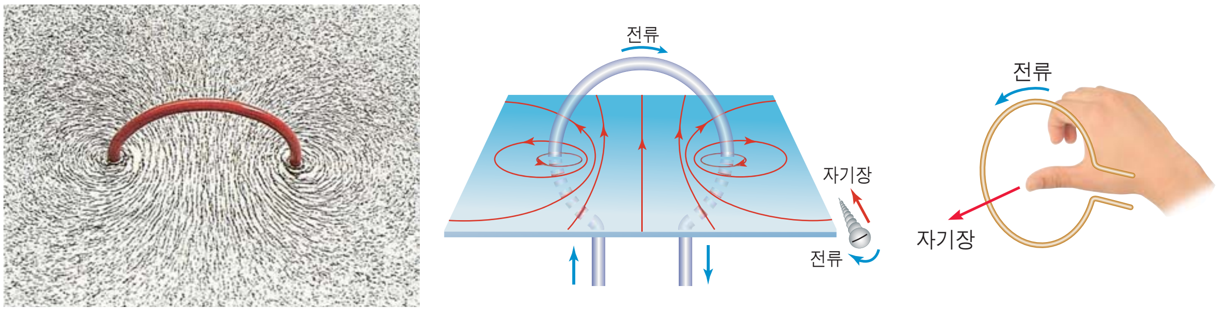
4. 원형 전류에 의한 자기장

직선 도선에 전류가 흐르면 도선 주위에 자기장이 생기고, 전류의 방향에 따라 자기장의 방향이 정해지며, 또 도선으로부터의 거리에 따라 자기장의 세기가 달라진다는 것을 알았다.

그렇다면 직선 모양의 도선을 원형 모양으로 만들어 전류를 흐르게 하면 자기장의 모양은 어떻게 될까?

두꺼운 종이를 원형 모양의 도선이 뚫고 지나가도록 장치해 놓고 철가루를 뿌리고 도선에 전류를 흐르게 하면, 그림 Ⅱ-14의 (가)와 같이 철가루가 도선을 중심으로 양쪽에 원을 그리며 둘러싸는 것을 볼 수 있다.

원형 전류 중심에서의 자기장의 방향은 그림 (나)에서 보여주듯이 오른나사가 돌아가는 방향으로 전류의 방향을 일치시키면 나사의 진행 방향이 자기장의 방향이 된다. 또는, 그림 (다)와 같이 전류가 흐르는 방향으로 오른손 네 손가락을 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이 코일의 중심에서의 자기장의 방향이 된다.

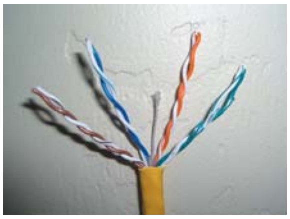


(가) (나) (다)

그림 Ⅱ-14 원형 전류에 의한 자기장

한편, 원형 전류의 중심에서 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 원형 도선의 반지름에 반비례한다.

연구 4. 전기 회로에서 서로 반대 방향으로 전류가 흐르는 도선들이 서로 꼬여 있는 경우를 자주 볼 수 있다. 이러면 어떤 문제를 해결할 수 있는지 알아보자.



연구 5. 나침반을 사용하여 집 안의 전등 스위치 근처 벽 속의 도선에 흐르는 전류를 감지할 수 있겠는지 생각하여 보자.

5. 솔레노이드에 의한 자기장

스피커나 전동기 내부를 보면 도선을 원형으로 여러 번 감은 코일을 볼 수 있다. 앙페르는 원형 코일을 한 번 감았을 때보다 여러 번 감을수록 같은 세기의 전류가 흐르더라도 자기장의 세기가 더 강해지는 현상을 발견하였다.

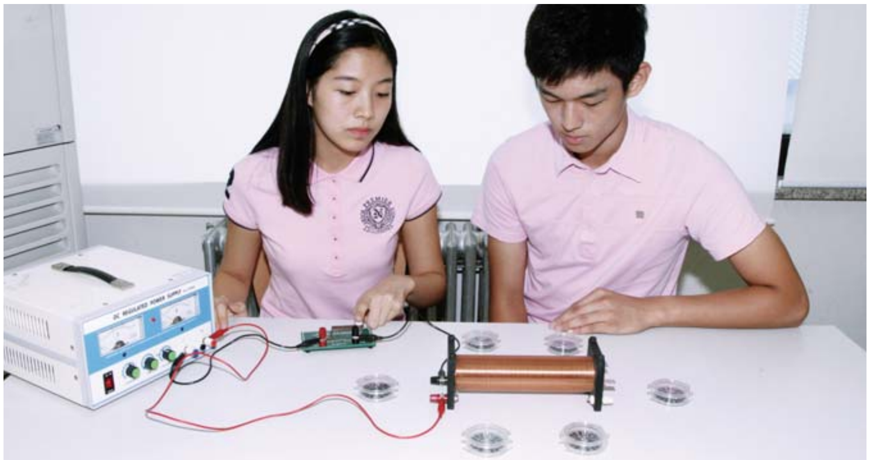
솔레노이드는 촘촘하고 균일하게 원통형으로 감은 도선이다. 전류가 흐르는 솔레노이드에 의한 자기장의 방향과 세기는 어떻게 될까? 다음 탐구를 통해 알아보자.

탐구 12 실험 솔레노이드에 의한 자기장

준비물 나침반, 전원 장치, 솔레노이드, 집게 도선, 스위치

과 정 • 다음 그림과 같이 솔레노이드 주변에 나침반을 놓고 솔레노이드에 전류를 흐르게 해 보자.

주의 도선이 너무 과열되지 않도록 주의한다.



정 리 1. 나침반 바늘이 가리키는 방향은 나침반이 놓인 위치에 따라 어떻게 다른지 토의하여 보자.

2. 솔레노이드 내부에서는 나침반 바늘의 방향이 어떻게 될 것이라고 생각하는지 솔레노이드를 흐르는 전류의 방향과 관련지어 생각하여 보자.

그림 Ⅱ-15의 (가)는 성기게 감긴 솔레노이드에 전류가 흐를 때 철가루가 늘어선 모양을 보여준다. 이것으로부터 성기게 감긴 솔레노이드의 자기장 모양은 그림 (나)와 같이 그려볼 수 있다. 내부의 자기력선은 거의 평행하고 균일하게 분포되어 있으며 서로 조밀하게 인접해 있다. 이것으로부터 솔레노이드 내부의 자기장은 균일하고 외부에 비해 상대적으로 강하다는 것을 알 수 있다. 그러나 솔레노이드 외부에서의 자기장은 균일하지 않고 솔레노이드에서 멀어질수록 약해진다.

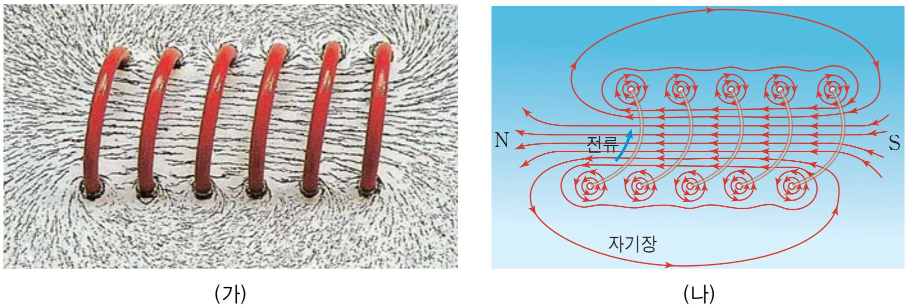


그림 Ⅱ-15 솔레노이드에 생기는 자기장

조밀하게 많이 감은 솔레노이드 외부의 자기력선은 그림 Ⅱ-16과 같이 막대 자석에 의한 자기력선과 거의 같은 모양이 된다.

솔레노이드 내부의 자기장의 세기는 솔레노이드 코일의 단위 길이당 감은 수가 많을수록 크고, 솔레노이드에 흐르는 전류의 세기가 셀수록 크다.

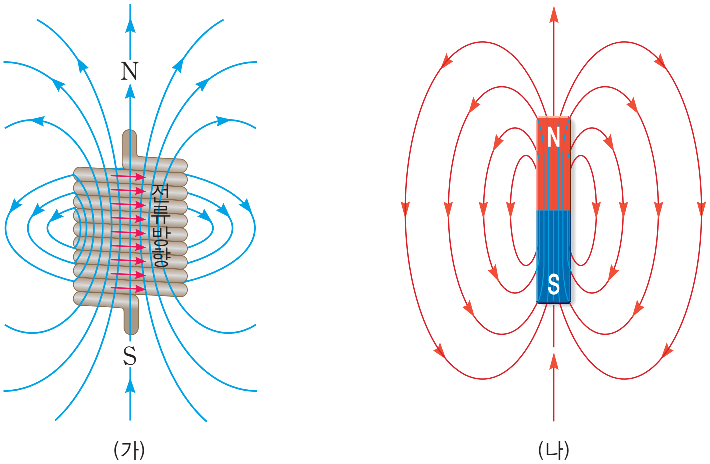
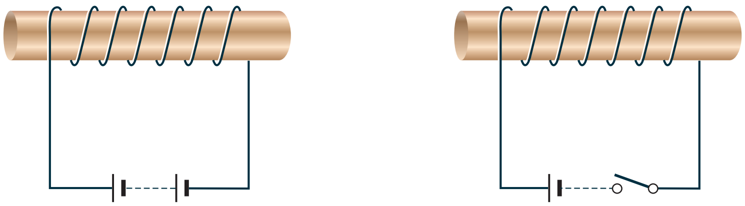


그림 Ⅱ-16 솔레노이드와 막대 자석의 자기력선

? 물음 7. 마주 보고 있는 두 솔레노이드에 서로 같은 방향으로 전류가 흐르면 두 솔레노이드 사이에는 어떤 힘이 작용할까? 서로 반대 방향으로 전류가 흐르는 경우에는 어떻게 될까?



한편, 솔레노이드에 흐르는 전류에 의해 생기는 자기장을 이용한 것으로는 전자석이 있다. 전자석은 영구 자석과 달리 전류의 세기를 조절하여 자기장의 세기를 조절할 수 있고 전류의 방향을 반대 방향으로 변화시켜 자석의 극을 바꿀 수 있다는 장점이 있다.



4 물질 내의 자성

학습 목표

1. 자석에 반응하는 성질에 따라 물질의 속성을 강자성, 상자성, 반자성으로 나눌 수 있다.
2. 자성이 전자의 스핀이나 궤도 운동에 의해 생김을 이해한다.

폐기물 처리장에서 보면, 전자석을 이용하여 자석에 붙는 물질을 분류하는 것을 볼 수 있다. 같은 금속이라도 철이나 니켈 성분이 있는 것은 자석에 붙지만 알루미늄이나 구리 등은 자석에 붙지 않는 성질을 이용하는 것이다.

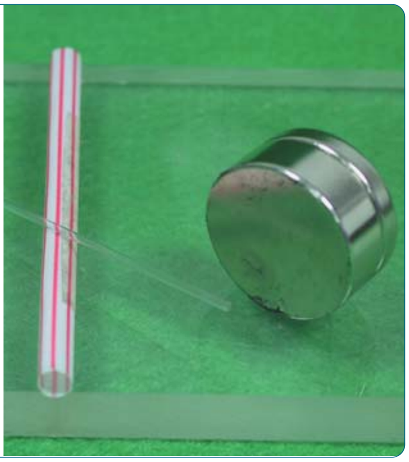
다음 탐구를 통해 물질이 자석에 어떻게 반응하는지 알아보자.

탐구 13 해 보기 물질의 자성 알아보기

준비물 막대 자석, 철 클립, 플라스틱 조각, 유리 막대, 네오디뮴 자석

과 정 1. 막대 자석을 철 클립과 플라스틱 조각에 가까이 가져가 보자.
⇨ 각각은 자석에 어떻게 반응하는가?

2. 잘 움직일 수 있도록 플라스틱 빨대 위에 올려놓은 유리 막대에 네오디뮴 자석을 가까이 가져가 보자.
⇨ 유리 막대는 어떻게 반응하는가?



탐구 13에서와 같이 자석을 가까이 가져갔을 때 철 클립은 자석에 잘 붙지만 플라스틱 조각은 붙지 않는 것을 알 수 있다. 그런가 하면 유리 막대는 강한 자석에 밀리는 것을 볼 수 있다.

물질은 외부 자기장에 대해 반응하는 자기적 특성을 가지고 있다. 어떤 물질은 외부 자기장이 주어졌을 때 강한 자성을 띠기도 하지만 어떤 물질은 외부 자기장에 대해 거의 반응하지 않는다. 일반적으로 물질이 띠는 자성에는 상자성, 강자성, 반자성 등 세 가지 유형이 있다.

상자성 물질은 외부 자기장을 걸어주면 물질 속에 약간의 알짜 자기장이 형성되지만 외부 자기장을 제거하면 원래의 상태로 되돌아가는 물질이다.

강자성 물질은 외부 자기장을 걸어주면 내부에 강한 자기장을 형성하며, 외부 자기장을 제거하여도 일부가 남아 있는 물질이다. 보통 강자성체 또는 자성 물질이라는 용어는 강자성을 주로 보이는 물질에 붙여진 것이다.

반자성 물질은 외부 자기장이 주어지면 전체적으로 약한 알짜 자기장이 만들어지

며, 외부 자기장이 제거되면 사라진다. 그러면서도 상자성체와는 달리 자석을 가까이 가져가면 척력을 받는 성질을 가진다.

물질이 자성을 띠는 까닭은 물질을 구성하는 원자 내의 전자의 운동 때문이다. 보어 원자 모형에 따라 전자는 원자핵을 중심으로 원운동을 하는데, 이것을 전자의 궤도 운동이라고 한다. 전자의 궤도 운동은 그림 Ⅱ-17과 같이 원자핵 주위를 약 10^{-16}초에 한 번씩 도는 것으로 마치 원형 도선에 전류가 흐르는 것과 같은 효과가 나타난다. 전자는 (−)전하를 가지고 있으므로 전자의 운동 방향과 반대 방향으로 전류가 형성된다. 따라서 그림과 같이 전류의 방향이 시계 방향이므로 오른나사 법칙에 의해 아래쪽에 N극, 위쪽에 S극이 형성된다. 또한 전자는 궤도 운동 이외에도 그림 Ⅱ-18과 같이 자전축을 중심으로 회전하는 것과 같은 **스핀**이라는 고유한 성질을 가지고 있다. 따라서 스핀 방향과 반대 방향으로 전류가 흐르는 것과 같은 효과가 나타나기 때문에 아래쪽으로 N극, 위쪽으로 S극을 갖는다. 원자는 전자의 궤도 운동과 스핀에 의해 나타나는 자기장으로 매우 작은 자석으로 생각할 수 있다. 하지만 대부분의 물질에서 원자 내의 전자들의 궤도 운동에 의해 생기는 자기장은 0이거나 매우 작다. 왜냐하면 원자 내에서 전자의 궤도 운동에 의한 자기장은 반대 방향으로 궤도 운동하는 전자의 자기장에 의해 상쇄되기 때문이다. 또한 여러 개의 전자를 갖는 원자나 이온에서 전자들은 보통 서로 반대 방향의 스핀을 갖는 전자들과 쌍을 만든다. 따라서 이러한 쌍을 갖는 원자는 자기장을 나타내지 않는다. 그러나 쌍을 이루지 않는 전자를 갖는 원자는 그에 상응하는 자기적 효과를 가진다.

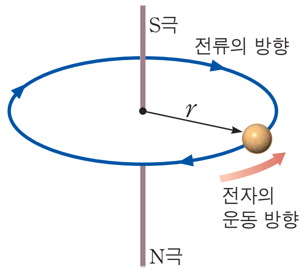


그림 Ⅱ-17 원자핵 주위를 도는 전자



그림 Ⅱ-18 전자 스핀에 의한 자기장

1. 강자성

철, 코발트, 니켈 등은 강한 자성을 띠는 물질로서 **강자성체**라고 한다. 영구 자석을 만드는 데 사용하는 강자성 물질은 쌍을 이루지 못한 전자들을 갖고 있는 원자로 구성된 물질이다. 이러한 원자를 하나의 작은 자석이라고 생각할 때, 강자성 물질은 그림 Ⅱ-19의 (가)와 같이 원자들의 N극이 모두 같은 방향으로 정렬되어 있는 자기 구역이라는 미세 영역을 가진다. 따라서 강자성 물질에 외부 자기장을 걸어주면 이러한 작은 구역들은 그림의 (나), (다)와 같이 외부 자기장과 같은 방향으로 정렬되면서 같

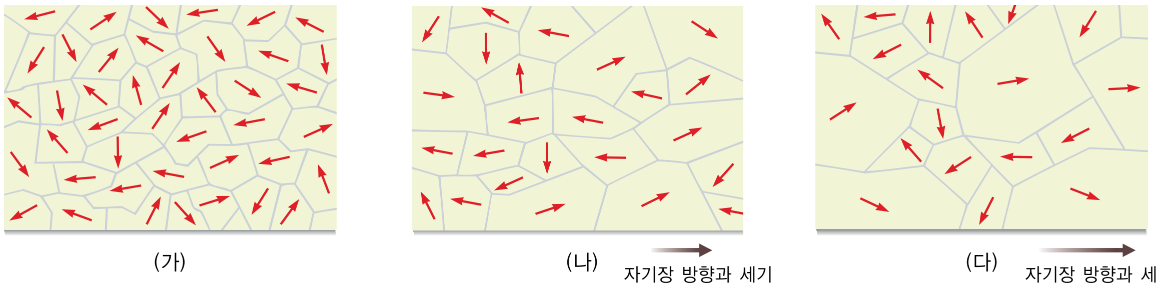


그림 Ⅱ-19 강자성 물질

은 방향을 갖는 자기 구역이 점점 넓어져 외부 자기장을 없애도 자성을 유지한다.

다음 탐구를 통해 외부 자기장에 의해 자화된 물질이 어떻게 자성을 유지하는지 알아보자.

탐구 14 해 보기 **자화 관찰하기**

• 준비물 플라스틱 시험관, 네오디뮴 자석, 자석 가루, 클립

• 과 정

1. 검은 페라이트 자석을 잘게 부수어 만든 자석 가루를 시험관에 넣고 자석 가루가 잘 섞이도록 흔든다.
2. 잘 흔든 시험관을 클립에 가까이 가져간다.
   ⇨ 클립이 자석에 붙는가? 그 까닭은 무엇인가?
3. 시험관 벽을 네오디뮴 자석으로 문지르면서 자석 가루의 움직임을 관찰한다.
   ⇨ 네오디뮴 자석을 문지르는 동안 자석 가루가 어떻게 움직이는가?
4. 네오디뮴 자석으로 문지른 시험관을 클립에 가까이 가져가 보자.
   ⇨ 클립이 시험관에 달라붙는가? 그 까닭은 무엇인가?



2. 상자성

상자성은 아연, 마그네슘과 같은 전이 원소, 스칸듐, 이트륨 등과 같은 희토류 원소, 악티늄, 우라늄과 같은 악티늄계 원소 등을 포함하는 물질에서 나타난다. 상자성을 나타내는 물질의 원자들도 각각 작은 자석과 같이 자기장을 나타내지만 그 방향이 무질서하게 배열되어 있어 물질 전체적으로는 알짜 자기장이 나타나지 않는다. 그러나 외부 자기장을 걸어주면 원자들이 부분적으로 외부 자기장과 같은 방향으로 정렬하여 알짜 자기장을 형성한다. 그러나 외부 자기장을 제거하면 물질 내부의 자기장도 사라지는 특징을 가진다.

전이 원소

하나의 원자가 가지는 전자는 그 원자 번호와 같은 수만큼 있다. 몇 개의 전자 궤도를 안쪽부터 차례로 차지하고 제각기 돌고 있다. 그런데 어떤 원소의 원자에서는 주기율표에서 하나 앞의 원소보다 전자의 수가 하나 늘어날 때, 이미 채워져 있는 전자 궤도의 안쪽 궤도에 전자가 들어가 있다. 이와 같은 원소를 전이 원소라고 한다.

3. 반자성

금, 은, 구리, 납 등의 금속, 산소를 제외한 대부분의 기체, 물, 유리, 대부분의 염류 등이 반자성을 나타낸다. 반자성 물질에 외부 자기장을 걸어주면 물질 내에 새로운 전류가 유도되어 외부 자기장과 반대 방향의 자기장이 형성된다. 대부분의 경우 물질의 상자성 효과 때문에 반자성 효과는 보이지 않게 되지만 경우에 따라서는 반자성 효과가 커서 물질 내의 자기장의 세기가 0이 될 수도 있으며, 외부 자기장을 매우 크게 걸어주면 척력을 나타내기도 한다.

희토류 원소

원자 번호 57에서 71까지 15개 원소에 스칸듐과 이트륨을 더한 17개의 원소를 통틀어 이르는 말, 화학적 성질이 비슷하여 보통의 화학 분석 조작으로는 분리하기 어렵고, 자연적으로 서로 섞이어 산출되며 양이 아주 적다.

5 유도 전류와 패러데이 법칙



학습 목표

1. 자기장이 변하면 유도 전류가 발생함을 안다.
2. 패러데이 법칙을 이해한다.

외르스테드는 전류가 흐르는 도선 주위에 자기장이 형성된다는 것을 발견하였다. 그후 패러데이는 이 현상과는 반대로 자기장으로부터 전류를 발생시키는 전자기 유도 현상을 발견하였다. 이 전자기 유도 원리는 발전소에서 전기를 발생시키는 데 중요하게 이용된다. 이러한 전자기 유도 현상을 알아보자.

1. 유도 전류의 발생

코일에 전류가 흐르면 코일 주위에 자기장이 생기고, 코일에 흐르는 전류의 세기가 달라지면 코일 주위의 자기장의 세기도 달라진다. 그러면 이번에는 반대로 코일 주위의 자기장을 변화시키면 코일에는 어떤 일이 일어날까?

다음 탐구를 통해 코일 주위의 자기장을 변화시키면 어떤 현상이 일어나는지 알아보자.

탐구 15 실험 **코일 주위의 자기장 변화시키기**

준비물 막대 자석, 솔레노이드, 검류계, 집게 도선

과 정

1. 솔레노이드와 검류계를 직렬로 연결하고 솔로노이드 속에 막대 자석 N극을 천천히 밀어 넣으면서 전류 측정 장치인 검류계 바늘의 움직임을 살펴보자. 그 다음에는 막대 자석의 N극을 천천히 빼내면서 검류계 바늘의 움직임을 살펴보자.
   ⇨ 두 경우에 검류계 바늘이 움직이는 방향은 어떻게 되는가?
2. 막대 자석의 N극을 솔레노이드 속에 넣고 빼는 동작을 빠르게 반복하여 보자. 또, 자석을 움직이다가 잠시 멈추어 보자.
   ⇨ 두 경우에 검류계 바늘의 움직임은 어떠한가?
3. 자석의 극을 바꾸어 잡고 과정 1, 2를 반복하자.
   ⇨ 검류계 바늘의 움직임은 어떻게 달라지는가?
   이때 지나치게 빨리 움직이면 오히려 바늘의 움직임이 느리다. 왜 그런지 생각하여 보자.



4. 자석을 솔레노이드 입구 주변에서 이리저리 왔다갔다 해보자.
   ⇨ 검류계 바늘의 움직임은 어떠한가?

정 리 이것으로부터 자기장의 변화와 전류의 세기에 대해 무엇을 알 수 있는지 설명하여 보자.

탐구 15에서와 같이 코일에 막대 자석을 가까이하거나 멀리하면 코일에 전류가 생기는 것을 알 수 있다. 그런데 코일에 전류가 흐르려면 코일 양단에 기전력이 있어야 한다. 따라서 자석을 코일에 가까이하거나 멀리함으로써 코일 양단에 기전력을 발생시킨 것이다. 이렇게 발생한 기전력을 **유도 기전력**이라 하며, 유도 기전력에 의해 코일에 흐르는 전류를 **유도 전류**라고 한다.

이러한 결과는 회로에 전지가 연결되어 있지 않아도 그 회로에 유도 기전력에 의해 만들어진 전류가 흐르게 된다는 것을 말해 준다. 이러한 현상을 **전자기 유도**라고 한다.

2. 패러데이 법칙

탐구 15에서 자석과 코일의 상대적인 운동을 통해 자기장을 변화시킬 때에만 전류계의 바늘이 움직이는 것으로 보아 전자기 유도 현상은 자기장이 변할 때에만 일어난다는 것을 알 수 있다. 자기장을 빠르게 변화시킬 때 검류계의 바늘이 크게 움직이는 사실로부터 유도 전류의 세기는 시간에 따른 자기장의 변화에 비례한다는 것을 알 수 있다. 이러한 현상을 **패러데이 법칙**이라고 한다.

여기서 유도 전류의 방향은 어떻게 될까?

그림 Ⅱ-20의 (가)에서처럼 전류 측정 장치인 검류계에 연결된 도선 고리를 생각하여 보자. 그림 (나)와 같이 자석의 N극을 고리 쪽으로 접근시키면 검류계 바늘은 한쪽 방향으로 치우친다. 그리고 자석의 N극을 고리로부터 멀어지게 하면 그림 (다)와 같이 검류계 바늘은 반대 방향으로 치우친다.

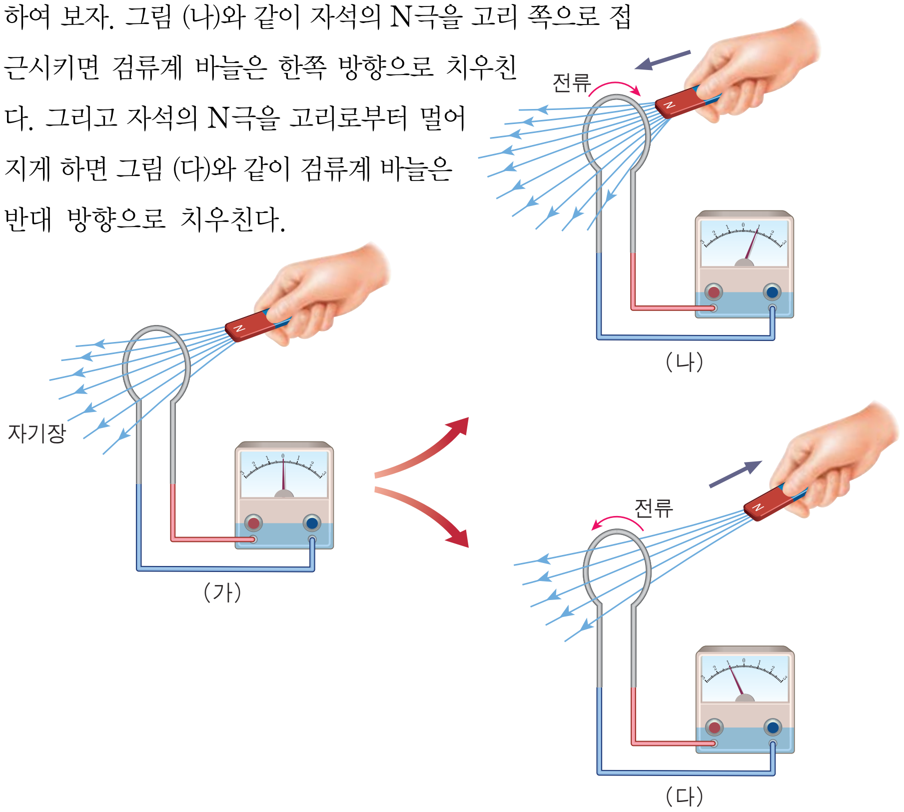


그림 Ⅱ-20 코일에 유도되는 기전력의 방향

또 자석이 고리에 대해 정지해 있으면 그림 (가)와 같이 검류계 바늘은 어떤 방향으로도 치우치지 않는다. 여기서 코일에 흐르는 전류의 방향은 코일을 지나는 자기력선속의 변화를 방해하는 방향으로 생긴다. 이렇게 유도 전류의 방향을 결정하는 법칙을 **렌츠 법칙**이라고 한다.

여기서 자기력선속 ϕ는 그림 Ⅱ-21과 같이 면적 A인 단면을 수직으로 통과하는 자기장의 세기 B와 그 면적의 곱으로 정의한다. 즉,

$$\phi = BA$$

가 된다.

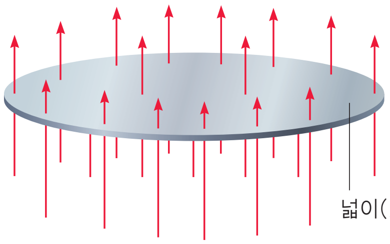


그림 Ⅱ-21 자기력선속

기전력 ⇨ 268쪽 참고

자기력선속(ϕ)과 자기장의 세기(B)

'속'을 한자로 쓰면 束이 된다. 이 의미는 다발이라는 의미를 가진다.

- 자기력선속(자속) : 자기장에 수직인 단면을 지나는 자기력선의 총수로 단위로는 Wb를 사용한다.
- 자기장의 세기(자속 밀도) : 자기장에 수직인 단위 면적을 지나는 자속(자기력선의 개수)으로 단위로는 T(테슬라)를 사용한다.

예제 3

그림 Ⅱ-20과 같이 넓이가 4 m^2인 내부를 수직으로 통과하는 자기력선속이 16 Wb일 때 자속 밀도가 4 T이다. 이때 수직으로 통과하는 자기력선속을 20 Wb로 증가시키면 자속 밀도는 얼마가 되겠는가?

해설 | 자기력선속과 면적과의 관계식을 통해 자속 밀도를 구하면

$B = \dfrac{\phi}{A} = \dfrac{20\text{ Wb}}{4\text{ m}^2} = 5\text{ T}$임을 알 수 있다.

답 5 T

연구 6. 왜 자기장의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 생기는지 생각하여 보자. 이때 관성 법칙이나 에너지 보존 법칙을 관련지어 생각하여 보자

$\Delta\phi$는 어떤 면적을 지나는 자기력선속의 변화량

Δt는 자기력선속이 $\Delta\phi$만큼 변하는 동안의 시간 간격

유도 전류를 발생시키는 유도 기전력 ε를 렌츠 법칙을 고려한 페러데이 법칙으로 나타내면 다음과 같다.

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

코일이 N번 감긴 경우 코일의 기전력은 다음과 같다.

$$\varepsilon = -N\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

따라서, 코일의 감은 수가 많을수록 유도 기전력이 커진다.

왜 "$-$"를 쓰는가?

렌츠 법칙에서 보면 유도 기전력은

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

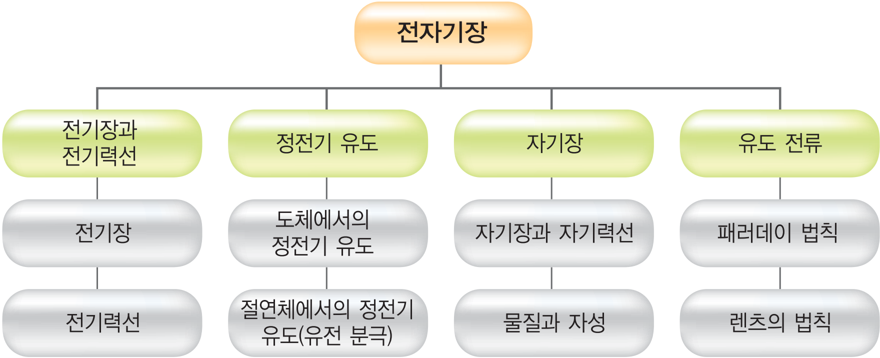
로 항상 음수($-$)로 표현한다. 그것은 유도 기전력의 방향이 자기장 변화를 방해하는 방향으로 생기기 때문이다.

창의력 1. 만일 렌츠 법칙이 반대로 성립한다면 자연계에서는 어떤 일이 발생할지 생각해 보자.

패러데이 법칙에서 보는 바와 같이 코일과 자석 또는 전자석의 상대적인 운동은 코일에 전류를 흐르게 한다. 이러한 원리를 이용하여 발전소에서는 전력을 생산한다.

01 전자기장 중단원 마무리

한눈에 보기



되짚어 보기

- 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 두 전하량의 곱에 비례하고 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 이를 쿨롱 법칙이라고 한다.
- 전기장의 방향과 상대적인 크기는 전기력선으로 나타낼 수 있다.
- 전기장 속의 도체에서는 전자 이동에 의해, 절연체에서는 유전 분극에 의해 정전기 유도 현상이 발생한다.
- 자석 내부와 주위에는 자기장이 발생하며, 자기장의 상대적인 크기는 자기력선으로 나타낼 수 있다.
- 솔레노이드에는 막대 자석에 생기는 자기장과 비슷한 모양의 자기장이 발생한다.
- 물질의 자성에는 강자성, 상자성, 반자성이 있다.
- 코일을 지나는 자기력선속이 시간에 따라 변하면 유도 전류가 발생한다.
- 유도 전류의 세기는 코일의 단면에 수직인 자기장 성분의 시간적 변화율에 비례하는데, 이를 패러데이 법칙이라고 한다.
- 유도 전류의 방향은 코일을 지나는 자기력선속의 변화를 방해하는 방향으로 생기는데, 이를 렌츠 법칙이라고 한다.



| 주 요 용 어 |

전하
전기력
쿨롱 법칙
전기장
자기장
전기력선
전기장의 방향
도체와 절연체
정전기 유도
유전 분극
자기력선
솔레노이드
상자성
강자성
반자성
유도 전류
유도 기전력
패러데이 법칙
렌츠 법칙
앙페르 법칙

확인하기

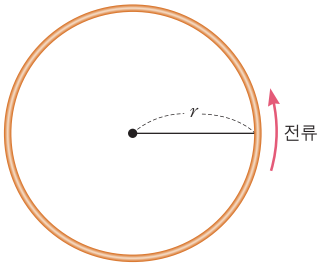
1 질량 10 g인 대전된 두 스티이로폼 공이 25 cm 길이의 실에 매달려 있다. 수직면에 대해 각각 15°만큼 벌어져 있다.

(1) 두 공에 대전된 전하는 같은 종류인가?

(2) 전하량의 크기는 꼭 같아야 하는가?

(3) 두 공에 작용하는 힘들은 어떤 힘들인가?

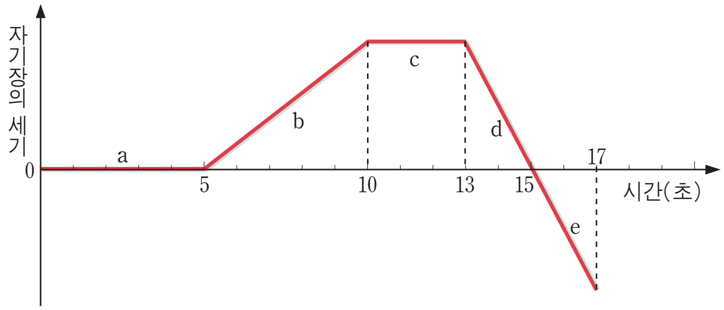
2 오른쪽 그림과 같이 원형 도선에 전류가 반시계 방향으로 흐르고 있다. 이 원형 도선의 중심에서의 자기장의 방향은 어디인가?



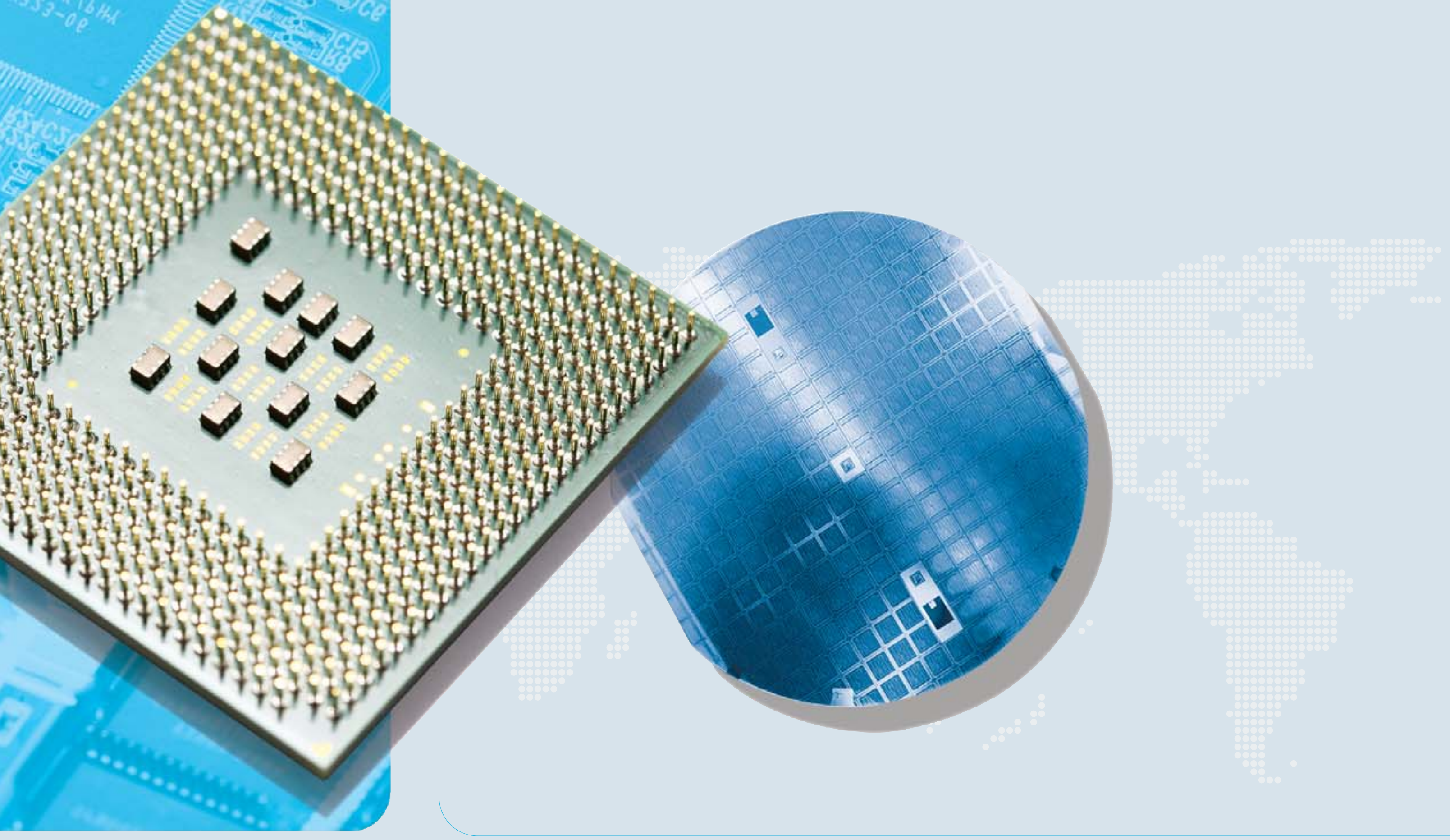
3 솔레노이드와 막대 자석의 자기장은 비슷하다. 그렇다면 철이나 코발트와 같은 천연 자석 내에는 원형 고리 전류가 존재할까? 왜 그렇게 생각하는가?

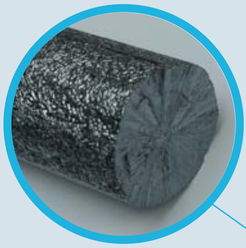
4 지면에 수평으로 놓인 원형 도선에 자기장이 지면을 뚫고 나오는 방향으로 통과하고 있다. 이 자기장이 시간에 따라 증가할 때 유도 전류의 방향은 시계 방향일까? 반시계 방향일까?

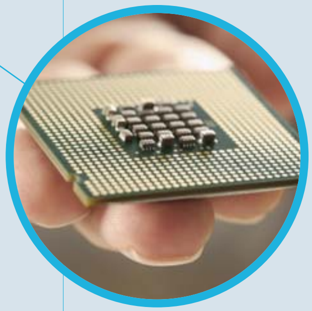
5 다음 그림은 원형 고리 도선을 수직으로 지나는 자기장의 세기를 시간에 따라 나타낸 것이다. a～e까지 구간에서 원형 고리 도선에 유도되는 전류의 세기를 크기 순서대로 나열하라.



2 물질의 구조와 성질







물질과 관련된 연구는 물리학, 화학, 공학 등 여러 분야에서 이루어지고 있을 만큼, 물질의 구조와 성질에 관련된 내용은 어느 한 영역에 속해 있는 독립적인 분야는 아니다. 물리학에서는 에너지의 관점에서 물질의 구조와 성질을 다루게 될 것이다.

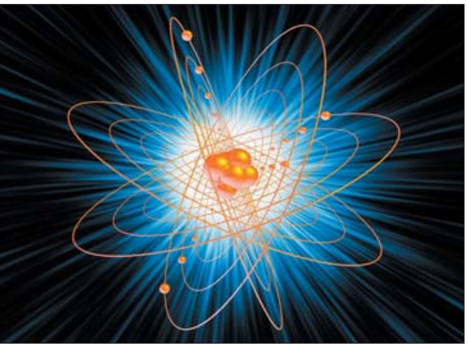
과학 기술 혁신의 시대라고 불릴 만큼, 오늘날 우리는 하루가 다르게 변모하는 과학 기술 혁신을 경험하며 살아가고 있다. 물질을 기반으로 하는 소재 기술은 정보, 에너지 등과 함께 과학 기술 혁신을 견인하고 있다.

이 장에서는 물질을 이루는 원자의 구조와 물질의 전도성, 그리고 최신 기술의 핵심에 있는 반도체와 신소재에 대해 학습한다.

생각 열기

전파를 송신하거나 수신하기 위해서는 안테나가 필요하다. 그러기 때문에 옛날의 휴대 전화는 바깥에 안테나를 가지고 있었다. 그러나 오늘날의 휴대 전화는 안테나를 볼 수 없다. 왜 그럴까?





1 원자의 구조

학습 목표

1. 원자는 양자화된 에너지 준위를 가지고 있음을 안다.
2. 들뜬 원자에서 빛의 방출이 불연속적 스펙트럼의 형태로 나타나게 됨을 이해한다.

지구상에 있는 온갖 생물 또는 무생물을 포함한 모든 물질은 원자라고 하는 아주 작은 입자가 모여 형성되어 있다. 과학자들은 여러 가지 실험적 증거와 관찰을 통하여 원자의 존재를 확인하였다.

최근에는 과학의 발달로 각 원자들의 성질을 알 수 있게 되었다. 하지만 육안으로는 물론 현미경으로도 보이지 않는 원자의 모습이 밝혀지기까지는 많은 과학자들의 끊임없는 노력이 있어 왔다.

1. 원자에 대한 옛날 사람들의 이해

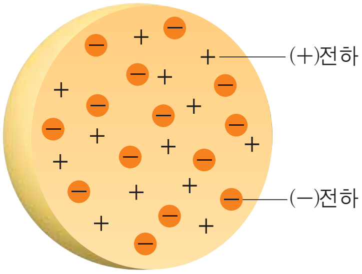


그림 Ⅱ-22 톰슨의 원자 모형



그림 Ⅱ-23 한타로의 토성 고리 모형을 기념한 우표

데모크리토스와 같은 고대 그리스의 철학자들은 모든 물질은 원자라는 매우 작은 입자로 구성되어 있다는 것을 제안하였다. 그래서 물질을 이루는 원자의 크기와 모양이 물질의 성질을 결정한다고 생각하였다. 하지만 많은 사람들은 매우 작고 볼 수도 없는 원자의 존재를 오랜 시간 동안 받아들이지 않았다.

1808년 영국의 화학자 돌턴은 그리스의 **원자론**을 부활시켰다. 돌턴은 각각의 물질이 일정한 비율의 원자들의 결합으로 이루어져 있다고 주장하였고 단순한 구형의 원자 모형을 제시하였다. 그 후에 원자의 전기적 성질이 발견되기까지 원자를 이루는 구성 입자들에 대한 연구가 이어졌다.

1897년 영국의 물리학자 톰슨은 최초로 원자 구성 입자인 전자를 발견하였다. 톰슨은 이 미세한 입자가 (−)전하를 띤다는 것을 실험적으로 보여 주었다. 이 공로로 톰슨은 1906년 노벨 물리학상을 수상하였다. 톰슨은 그림 Ⅱ-22와 같이 많은 전자들이 (+)전하 물질에 듬성듬성 박혀 있는 것으로 원자를 묘사하였고, 이는 푸딩 위에 건포도가 뿌려진 모형으로 설명되고 있다.

1903년 토성 고리의 안정적 운동에 관심을 가졌던 일본의 물리학자 나가오카 한타로는 **토성 고리 모형**을 제안하였다. 중력에 의해 운동하는 토성을 정전기력에 의해 운동하는 핵과 그 주변을 회전하는 전자 고리를 비유하였다. 하지만 전자 고리내의 전기적 반발력을 설명하지 못한 채 스스로 자신의 이론을 포기하였다.

1911년 영국의 물리학자 러더퍼드는 헬륨 핵 입자인 알파 입자를 금박에 쏘아 본 결과 대부분의 대전 입자는 금박을 관통해 나오지만, 그 중의 일부는 큰 각도로 진행 방향이 휘어지는 것이 있는가 하면, 어떤 것은 거의 되튀어 나옴을 실험적으로 확인하였다. 이를 통해 원자의 중심에 양으로 대전된 입자들이 모여 있을 것으로 생각하

였다. 그는 이 중심을 핵이라 하였고 핵의 크기를 원자 크기의 10만분의 1 정도로 추정하였다. 러더퍼드의 원자 모형은 그림 Ⅱ-24와 같이 원자의 중심에 원자 질량의 대부분을 차지하는 원자핵이 있고 그 주변을 전자들이 전기력에 의해 회전하고 있고, 원자의 대부분의 공간은 비어 있는 것으로 묘사하였다. 이것은 마치 행성이 태양 주위를 돌고 있는 것과 같은 모양과 비슷하다하여 **태양계 모형**이라고도 한다.



그림 Ⅱ-24 미국 원자력 위원회 마크에 새겨진 러더퍼드 원자 모형

연구 7. 톰슨 원자 모형과 한타로 원자 모형은 러더퍼드 원자 모형이 만들어지는데 어떤 영향을 미쳤겠는지를 토론하여 보자.

2. 원자의 스펙트럼

태양이나 백열등에서 나오는 빛은 여러 종류의 파장을 가진 연속 스펙트럼이다. 연속 스펙트럼이란 어떤 것인지 다음 탐구를 통해 알아보자.

탐구 16 관찰 스펙트럼

준비물 백열등 스탠드, 기체 방전관(또는 형광등), 분광계(또는 CD 간이 분광계)

유의 분광계가 없을 때 CD의 안쪽 은색 면에 비친 빛의 무늬를 관찰한다.

과 정 1. 백열등의 빛을 분광계를 이용하여 관찰하여 보자.

⇨ 백열등은 분광계를 통과한 후 어떤 색깔의 빛으로 나타나는가?

⇨ 백열등의 스펙트럼에서 색의 경계를 찾을 수 있는가?

2. 기체 방전관 또는 형광등의 빛을 분광계를 이용하여 관찰하여 보자.

⇨ 어떤 색깔의 빛을 볼 수 있는가?

⇨ 색의 경계를 찾을 수 있는가?

⇨ 백열등의 스펙트럼과 비교하여 보자.



정 리 백열등 빛을 분산시켜 나타난 스펙트럼과 기체 방전관이나 형광등의 빛을 분산시켜 나타난 스펙트럼의 공통점과 차이점은 무엇인지 설명하여 보자.

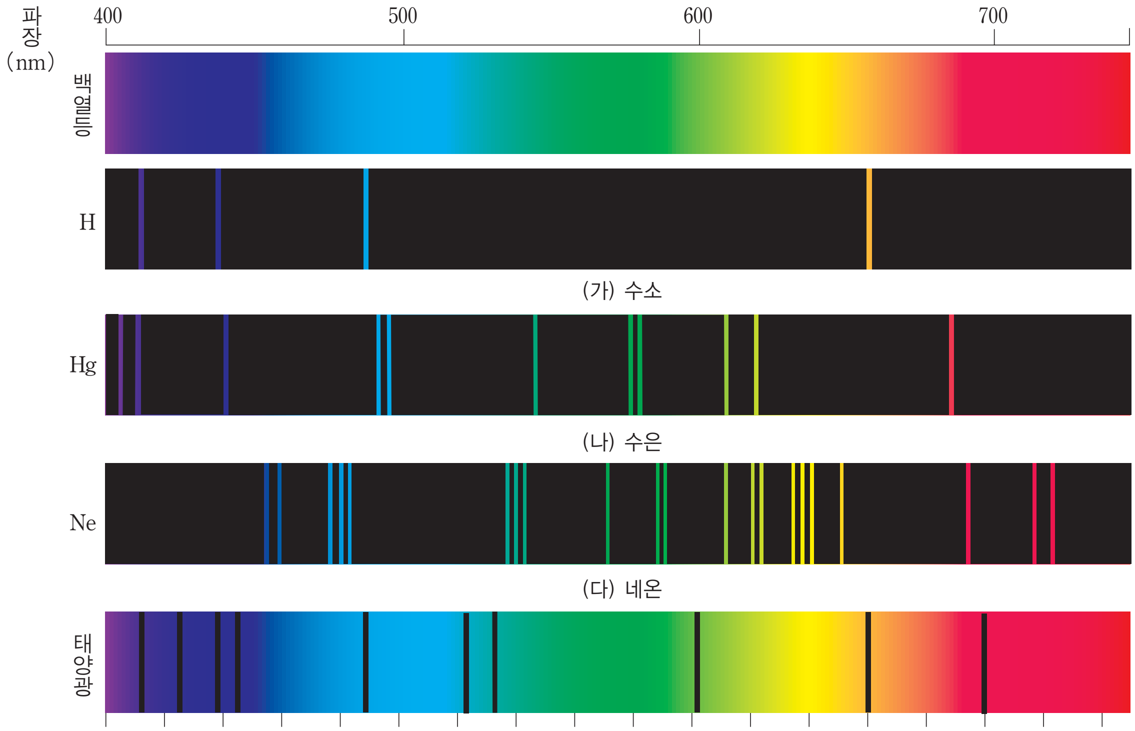


그림 Ⅱ-25 여러 가지 스펙트럼

그림 Ⅱ-25의 백열등과 같이 높은 온도의 고체나 액체에서 나오는 빛의 스펙트럼에는 여러 가지 파장의 빛이 연이어서 나타난다. 이와 같은 스펙트럼을 **연속 스펙트럼**이라고 한다.

방전관 속에 네온, 수소와 같은 기체를 넣고 높은 전압을 걸면 기체에 따라 고유한 색깔의 빛을 낸다. 이 빛을 분광기로 관찰하면 그림 Ⅱ-25의 수은(Hg), 네온(Ne)과 같이 밝은 선이 뛰엄뛰엄 나타나는데, 이를 **선스펙트럼**이라고 한다. 모든 원소들은 고유의 선스펙트럼을 가진다. 그래서 어떤 물질의 선스펙트럼을 분석하면 그 물질을 구성하는 원소의 종류를 알 수 있다. 또 선스펙트럼은 기체가 갖는 특정 파장의 빛을 내보낸다고 하여 **방출 스펙트럼**이라고도 한다.

한편, 백색광을 어떤 기체에 통과시키면, 기체는 특정 파장의 빛을 흡수한다. 흡수된 파장의 빛은 그림 Ⅱ-25의 태양광과 같이 검은 선으로 나타난다. 즉 태양 주변에는 수소 기체가 있음을 알 수 있다. 태양뿐만 아니라 멀리 떨어져 있는 별에서 오는 빛의 **흡수 스펙트럼**을 조사하면, 별의 표면에 있는 기체의 종류를 알 수 있다.

네온, 수소와 같은 기체 방전관에서 나오는 빛을 분광기로 보면 위치가 서로 다른 선스펙트럼으로 나타난다. 이처럼 기체의 종류에 따라 선의 위치가 다르게 나타나는 까닭은 무엇일까?

방전관에서 빛이 나오는 것은 기체 원자 내의 어떤 변화가 있기 때문이다.

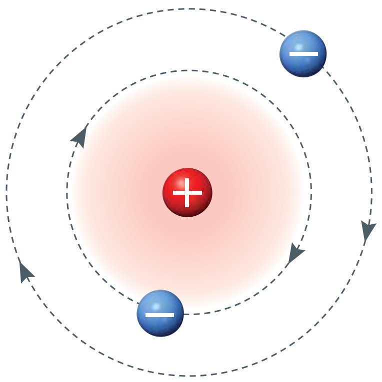


그림 Ⅱ-26 러더퍼드의 원자 모형

그래서 원자 스펙트럼에 대한 연구는 원자의 구조를 이해하는 데 아주 중요한 방법이 된다.

러더퍼드의 원자 모형에 의하면 그림 Ⅱ-26과 같이 전자는 핵 주위를 원운동하고 있다. 그런데 전자기학 이론에 의하면 회전 운동을 하는 전자는 전자기파를 방출해야 한다. 전자가 이렇게 에너지를 방출하면 에너지를 잃어버리는 것이므로 그림 Ⅱ-27과 같이 전자의 궤도는 감소하게 되고, 결국 전자가 핵에 흡수됨에 따라 원자는 붕괴하게 된다. 그래서 러더퍼드 원자 모형은 원자의 안정성은 물론 기체 원자의 선스펙트럼 현상도 설명할 수 없었다.

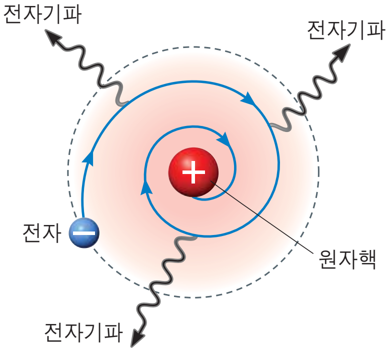


그림 Ⅱ-27 러더퍼드 원자 모형의 문제점

연구 8. 러더퍼드 원자 모형에 의하면 연속 스펙트럼을 방출해야 한다. 왜 그럴지 생각해 보자.

보어는 원자의 중심에 있는 원자핵을 중심으로 전자가 돌고 있으며, 전자는 특정 궤도에서 원운동한다는 원자 모형을 제안하였다. 이때 전자가 원운동하는 궤도 반지름은 아무 값이나 가질 수 있는 것이 아니라 특정한 값의 **정수배**로 나타내는 값만 가질 수 있다고 가정하였다. 즉 전자는 궤도 반지름이 원자핵에서 가까운 곳에서부터 $n=1, 2, 3, \cdots\cdots$의 정수로 나타나는 특정한 궤도에만 있을 수 있다. 이 정수 n을 **양자수**라고 한다. 전자가 각 양자수와 관련된 특정 궤도에만 있을 수 있기 때문에 전자는 양자수와 관련된 특정한 에너지 값만 갖게 된다. 이것을 **에너지 양자화**라고 한다.

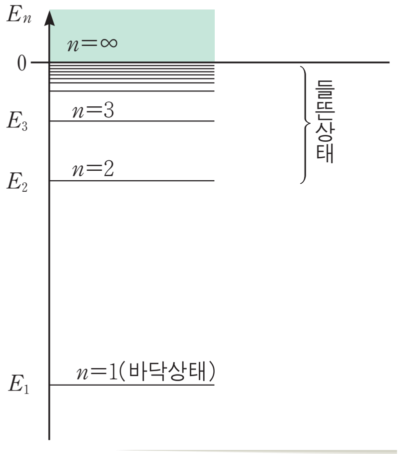


그림 Ⅱ-28 에너지 준위

에너지 준위란 그림 Ⅱ-28과 같이 가장 낮은 에너지 상태부터 단계적으로 나열한 에너지 값을 말하며, 양자수 n의 값에 따라 불연속적인 값을 가지게 된다. $n=1$인 경우에 가장 낮은 에너지를 갖고 **바닥상태**라고 한다. n이 1보다 큰 경우를 **들뜬상태**라고 한다.

전자가 에너지 준위 사이로 이동하는 것을 **전이**라고 한다. 그림 Ⅱ-29의 (가)와 같

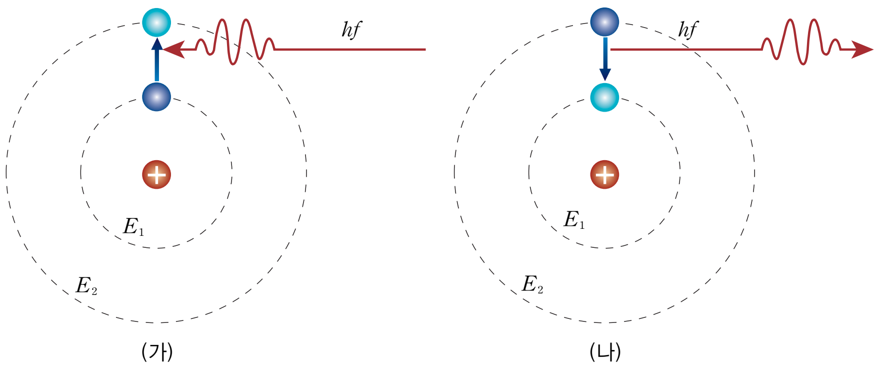


그림 Ⅱ-29 원자의 빛의 흡수와 방출

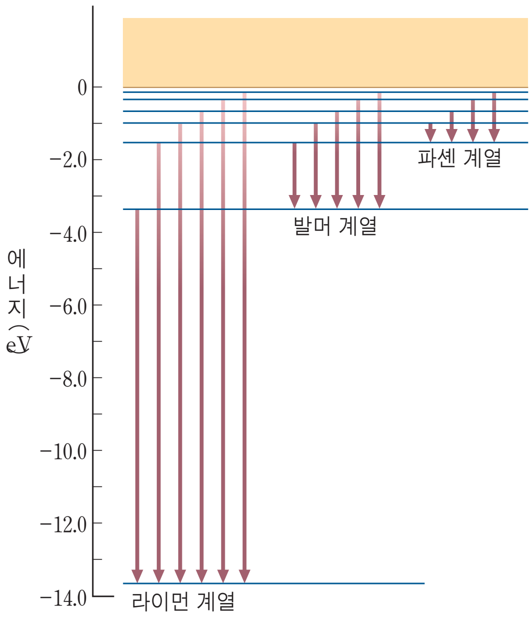


그림 Ⅱ-30　수소 원자의 스펙트럼 계열

이 바닥상태 E_1 준위에 있던 전자가 에너지를 흡수하면 들뜬상태 E_2 준위로 전이되나 그림 (나)와 같이 들뜬상태에 있는 전자는 불안정하여 에너지가 낮은 상태로 다시 전이하게 된다. 이때 에너지 차이에 해당하는 빛을 방출하게 된다.

일반적으로 에너지 준위 E_n에 있던 전자가 E_m으로 전이될 때 나오는 빛의 진동수 f는 다음 식으로 주어진다.

$$hf = E_n - E_m$$

이 모형에 의하면 원자가 방출하는 선스펙트럼을 잘 설명할 수 있다.

이와 같이 그림 Ⅱ-30은 수소 원자의 에너지 양자화로부터 수소 원자가 방출하는 선스펙트럼 계열을 설명해 주고 있다. 즉, 수소 원자 스펙트럼에서 나타나는 빛의 에너지는 두 전자 궤도의 에너지 준위 차이로 주어지며, 원자 내에서 전자는 허용된 에너지 준위 사이에서만 전이가 일어나므로 불연속적인 방출과 흡수 스펙트럼이 나타나는 것이라고 설명하였다.

연구 9. 그림 Ⅱ-30을 보고, 수소 원자의 에너지 준위로 수소 원자 스펙트럼에서 나타나는 여러 가지 계열을 설명하여 보자.

탐구 17 가상 실험　보어의 원자 모형

- **인터넷** http://www.sciencall.com



- **과　정**
  1. 보어 원자 모형이 가지는 의미를 가상 실험을 통하여 알아보자.
  2. 전자가 낮은 에너지 준위(안쪽 궤도)로 이동할 때 어떤 일이 일어나는지 살펴보자.
  3. 외부에서 들어온 에너지(빛)를 받은 전자가 어떻게 변하는지 살펴보자.

- **정　리** 전자가 궤도 운동할 때와 궤도와 궤도 사이를 이동할 때의 에너지 변화를 설명하여 보자.

2 에너지띠 이론과 물질의 전도성



학습 목표

1. 에너지띠 이론을 정성적으로 이해한다.
2. 에너지띠 이론으로 물질의 전도성을 설명할 수 있다.

물질에는 전류가 잘 흐르는 도체가 있고, 전류가 흐르지 못하는 부도체가 있다. 그런가 하면 그 중간의 성질을 가지는 반도체도 있다. 이렇게 물질의 전도성이 다른 까닭은 물질을 이루는 원자들의 종류 및 배치와 관계가 있다. 물질의 전도성과 물질을 이루는 원자의 종류 및 배치와의 관계를 알아보자.

고체에서는 원자가 아주 가까이 붙어 있다. 예를 들면 고체 구리 안에서 이웃한 원자 사이의 거리는 2.6×10^{-10} m이다. 이렇게 되면 구리 원자 내의 전자의 에너지 준위가 가까이 겹치게 된다.

그림 Ⅱ-31의 (가)에는 훨씬 떨어져 있는 두 개의 고립된 구리 원자가 있다. 각각의 고립된 중성 구리 원자 안에는 29개의 전자가 그림 (나)처럼 에너지가 낮은 상태부터 높은 상태의 순서로 에너지 준위를 채우고 있다. 만약 그림 (가)의 원자가 서로 가까워지면 두 원자의 전자 궤도들이 겹치게 되어 에너지 준위가 겹치게 된다. 파울리 배타 원리에 의해 하나의 양자 상태에 전자 두 개 이상(스핀의 두 방향 고려)은 들어갈 수 없으므로 두 개 원자의 에너지 준위들이 서로 겹치지 않도록 그림 Ⅱ-32와 같이 미세한 차이로 둘로 갈라진다. 고체를 이루는 원자가 3개이면 에너지 준위는 더 미세한 차이로 그림 (다)와 같이 3개로 분포한다. 따라서 n개의 원자로 이루어진 고체는 원자의 각각의 에너지 준위가 아주 가까이 붙어 있는 n개의 준위로 갈라진다. 그러므로 그림 (라)와 같이 아주 많은 원자로 이루어진 고체의 에너지 준위는 거의 연속적인 띠를 이루게 된다. 그 에너지띠 사이에는 띠틈이 있으며 전자는 띠틈에는 존재할 수가 없다.

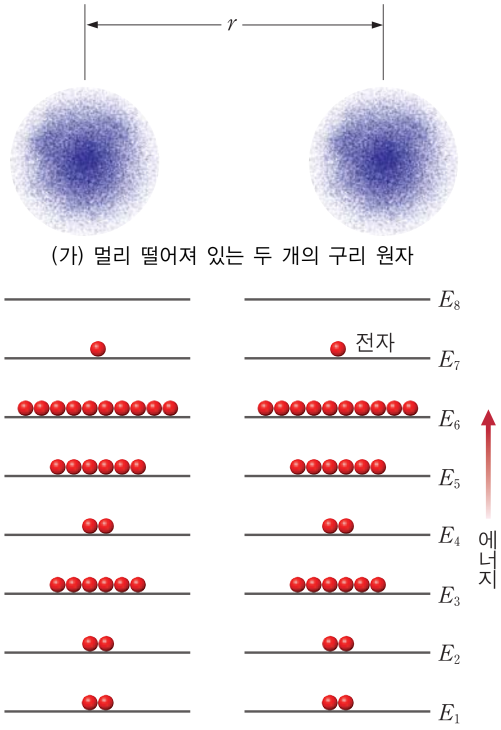


그림 Ⅱ-31 구리 원자와 에너지 준위

파울리의 배타 원리

한 원자 속에 있는 어떤 두 개의 전자도 서로 같은 양자 상태를 가질 수 없다.

전자는 낮은 에너지 준위로부터 차곡차곡 채워나가 원자의 제일 바깥쪽에 해당하는 전자가 차지하는 에너지띠를 **원자가띠**라 한다. 원자가띠 내의 전자 수는 고체의
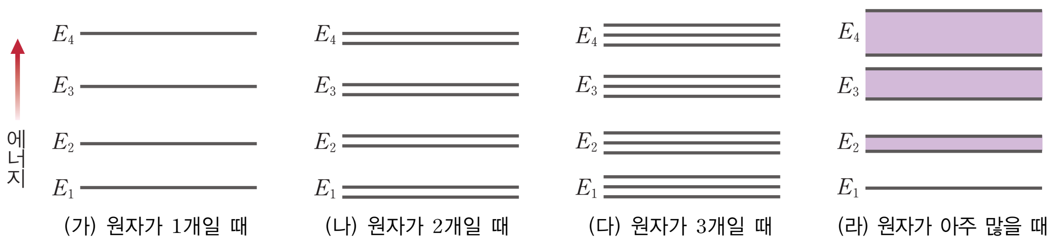


그림 Ⅱ-32 원자의 에너지 준위와 격자 내의 에너지띠의 비교

전기적 성질을 결정하는데 아주 중요한 역할을 한다.

고체의 한 가지 중요한 성질은 전기 전도도이다. **전기 전도도**란 외부 전기장의 작용으로 고체를 통하여 전자가 자유로이 이동할 수 있는 정도를 말한다. 전통적으로 부도체 또는 절연체라고 하는 것은 전기 전도도가 극히 나쁜 물질이다. 다이아몬드와 석영이 그 예에 속한다. 전기 전도도가 아주 좋은 고체도 있다. 구리, 은과 같은 금속이 이 경우에 속한다. 이들의 차이를 정량적으로 말하면 실온에서 구리의 전기 전도도는 석영보다 10^{20}배만큼 크다. 이 두 종류 사이의 중간에 반도체라고 하는 제 3의 부류에 속하는 고체가 있다.

에너지띠를 이용하여 도체, 반도체, 부도체에 대해 알아보자.

1. 도체

전기 전도도가 좋은 도체의 에너지띠는 그림 Ⅱ-33의 (가)와 같이 원자가띠의 일부분만 채워져 있다. 그러므로 에너지띠의 비어 있는 상태가 많으므로 전자는 에너지띠 내에서 비교적 자유롭게 여러 상태 사이를 이동하며 원자 사이를 옮겨 다닌다. 이러한 전자를 **자유 전자**라고 한다. 또한 외부에서 전기장을 걸어주면 전자들은 쉽게 다른 상태로 이동할 수 있어서 고체 내를 자유롭게 움직이게 된다. 하지만 이러한 전자들은 열적으로 불규칙하게 들뜬 전자들과는 달리 전기장 방향과 반대 방향의 운동량을 얻기 때문에 고체 속에서 집단적으로 한 방향으로 운동하게 된다. 따라서 이러한 전자들의 운동이 도체 내에서 전류를 형성하는 것이다.

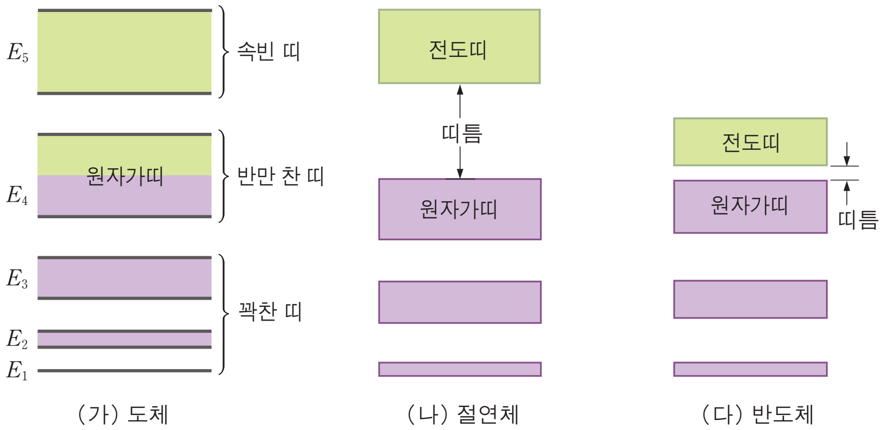


그림 Ⅱ-33 고체의 에너지띠

2. 부도체(절연체)

고체의 양쪽 끝에 전압을 걸어주었을 때 고체를 통해서 전류가 흐르지 않는다면 이 고체를 **부도체** 또는 **절연체**라고 한다. 그림 Ⅱ-33의 (나)와 같이 절연체의 원자가띠는 전자로 모두 채워져 있으므로 원자가띠 내에서 전자는 더 이상 이동할 수 없다.

따라서 다른 원자 사이를 자유롭게 옮겨다니는 자유 전자를 갖지 못한다. 부도체에서 전자로 꽉 차 있는 에너지띠 중 제일 위의 에너지띠와 완전히 비어 있는 다음 에너지띠 사이의 에너지 차이를 **띠틈**(에너지 간격)이라고 한다. 그리고 비어 있는 전도띠로 전자가 이동하기 위해서는 띠틈 이상의 에너지를 얻어야 하지만 띠틈의 간격이 매우 커서 쉽게 넘어설 수 없다. 다이아몬드의 경우에는 에너지 간격이 매우 커서 어떤 전자도 뛰어 넘을 수가 없다. 따라서 다이아몬드는 매우 좋은 부도체이다.

3. 반도체

띠틈이 1 eV 정도 또는 그 이하인 물질을 **반도체**라고 한다. 반도체의 경우 온도가 높아지면 일부 전자가 열에너지를 받아 작은 띠틈을 뛰어넘어 바로 위의 비어 있는 전도띠로 옮겨 가게 되어 전류가 흐를 수 있는 상태가 된다. 실리콘(Si)과 게르마늄(Ge) 등이 대표적인 반도체 물질이다. 반도체의 전도도는 온도가 높아질수록 증가하며, 띠틈이 감소할수록 커진다. 표 Ⅱ-1은 대표적인 물질의 띠틈을 제시한 것이다.

표 Ⅱ-1 여러 반도체와 절연체의 띠틈(에너지 간격)

반도체	띠틈(eV)	절연체	띠틈(eV)
Si	1.14	다이아몬드	5.33
Ge	0.67	AgCl	3.20
InSb	0.23	CdS	2.42

그림 Ⅱ-33을 보면 반도체의 에너지띠 구조는 절연체와 비슷하다는 것을 알 수 있다. 그러나 중요한 차이점이 있는데, 그것은 반도체에서는 가장 높이 있는 채워진 에너지띠인 원자가띠와 이보다 바로 위에 비어 있는 에너지띠인 전도띠 사이의 에너지 간격인 띠틈이 훨씬 작다는 것이다. 따라서 실리콘(띠틈=1.14 eV)은 반도체이고, 다이아몬드(띠틈=5.33 eV)는 절연체이다. 다이아몬드와는 달리 실리콘에서는 열에너지에 의해 전자가 띠틈을 뛰어넘어 전도띠로 뛰어오르는 것이 상온에서도 가능하다.

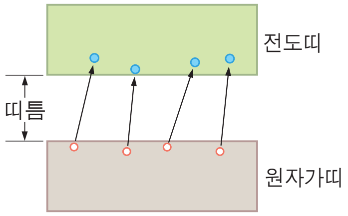


그림 Ⅱ-34 반도체에서 전자 이동

표 Ⅱ-2에서 대표적인 금속 도체인 구리와 대표적인 반도체인 실리콘의 전기적 특성을 비교하였다. 금속과 반도체가 얼마나 다른지 알기 위해 표의 내용을 하나씩 살펴보자. 우선 비저항에서 크게 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 비저항이란 물질의 종류와 온도에 정해지는 물질의 전기적 특성이다. 비저항이 클수록 전류가 잘 흐르지 못하므로 반도체의 전기 전도도는 금속에 비해 훨씬 작음을 알 수 있다.

비저항

저항은 단면적(S), 길이(L) 등의 물체의 외형에 의존하지만 비저항은 그 물질의 자체의 고유한 물리량이다. 단위는 Ω · m이다. 저항(R)과 비저항(ρ: 로우)의 관계는 다음과 같다.

$$R=\rho\frac{L}{S}$$

구리의 **전하 나르개**(전하를 운반하는 전자나 양공) 수는 실리콘에 비해 단위 부피당 대략 10^{13}배나 된다. 실리콘에서는 평형 상태에서 열에너지에 의해 소수의 전자만이 띠틈을 뛰어넘어 원자가띠에서 **전도띠**로 올라가며, 같은 개수의 양공을 원자가띠에 만든다. 그림 Ⅱ-34는 이를 보여 준다.

표 Ⅱ-2 두 종류의 물질에 대한 전기적 특성

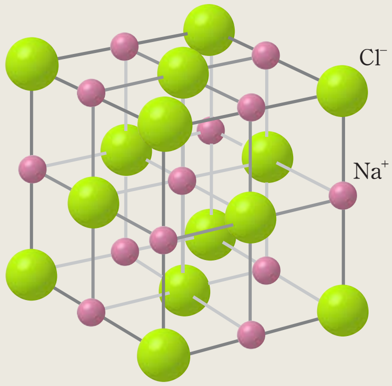
특성	단위	구리	실리콘
도체의 종류		금속	반도체
비저항	Ω·m	2×10^{-8}	3×10^{3}
전하 나르개 밀도	m^{-3}	9×10^{28}	1×10^{16}

전도띠의 전자와 원자가띠의 양공 모두 전하 나르개의 역할을 한다. 양공이 생기면 원자가띠에 있는 전자가 움직일 수 있는 자유도가 생기기 때문이다. 양공을 $+e$의 전하를 갖는 입자처럼 취급할 수 있다. 반도체에서 양공에 의한 전도는 전자에 의한 전도만큼이나 중요하다.

한 걸음 **더**

결정

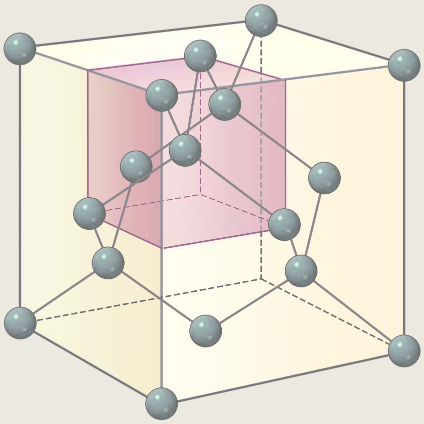
고체에는 결정성 고체와 비결정성 고체가 있다. 결정성 고체란 구성 원자들이 규칙적인 3차원 구조를 이루고 있는 고체를 말한다. 염화나트륨, 다이아몬드, 수정, 금속 등은 결정성 고체이며, 목재나 플라스틱, 유리, 고무 등과 같은 물질은 구조가 규칙적이지 않으므로 비결정성 고체이다.



(가) NaCl의 구조

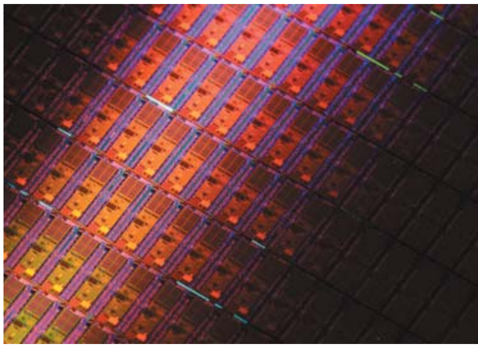
① 이온 결정: Ⅰ족의 원자와 Ⅶ족의 원자로부터 만들어진 모든 화합물은 염화나트륨(NaCl)이나 플루오르화리튬(LiF)과 같이 입방 구조로 배열된다. 그림 (가)에 NaCl의 구조가 제시되어 있다. X선 회절 실험을 통해 원자 사이 간격을 결정할 수 있으며, NaCl의 경우 28 nm임을 알 수 있다.
결정이란 원자가 규칙적이고 반복적인 배열을 하고 있는 상태를 말한다. 결정 구조의 종류에는 입방 구조 이외에도 13가지의 다른 결정 구조가 존재한다. 예를 들면 수정은 육방 결정을 하고 있다.

② 공유 결합 결정: 원자는 공유 결합을 이용하여 여러 가지 형태의 결정 상태를 이룰 수 있다. 그 예로서 탄소는 2가지 형태의 공유 결합 결정 상태를 가질 수 있다. 흑연은 평면 위에 6각형으로 연결된 탄소 원자가 다른 평면의 탄소 원자와 약한 결합을 하고 있다. 다이아몬드의 구조는 그림 (나)와 같다. 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 그래서 다이아몬드는 아주 단단한 성질을 가지고 있다.


(나) 다이아몬드의 구조

③ 금속 결정: 금속 내부에서는 원자의 최외각 전자가 있던 원자를 떠나 결정 내를 자유롭게 이동할 수 있다. 이 전자는 고정되어 있는 (+)전하와 상호 작용하여 안정된 결정 상태를 형성한다. 일반적으로 최외각 전자수가 적을 때 금속 결정이 쉽게 형성된다.

3 $p-n$ 접합과 반도체 소자



학습 목표

1. n형, p형 반도체의 원리를 이해한다.
2. $p-n$ 접합에서 전류가 흐르는 원리를 에너지띠 이론으로 설명할 수 있다.
3. 반도체 소자인 다이오드, LED, 트랜지스터의 작동 원리를 이해한다.

일반적으로 탄소(C), 게르마늄(Ge), 실리콘(Si)과 같은 순수한 원소는 반도체이므로 좋은 전도체는 아니다. 그러나 이 원소에 불순물을 첨가하면 반도체의 전기 전도도를 높일 수가 있다. 이렇게 순수한 반도체에 불순물을 첨가하는 것을 **도핑**이라고 한다.

도핑된 반도체

반도체는 흔히 불순물이라 불리는 특정한 원자들을 반도체에 첨가하는 도핑이라 불리는 과정을 통해 기술적으로 그 특성을 크게 향상시킬 수 있다. 보통 도핑된 반도체는 10^7개의 실리콘 원자당 한 개 정도만이 도핑하는 원자로 바뀐다. 실질적으로 오늘날의 반도체 소자는 도핑된 물질을 기본으로 하고 있다.

1. n형 반도체와 p형 반도체

순수한 반도체에 어떤 불순물을 첨가하는가에 따라 전하 나르개가 달라진다. 예를 들어, 실리콘에 소량의 인(P)이나 비소(As)를 첨가하는 경우를 생각해 보자.

실리콘은 주기율표에서 Ⅳ족 원소이므로 최외각 전자를 4개 가지고 있어서 고체 상태로 결합할 때, 이웃하는 원자와 전자를 서로 공유하여 최외각 전자가 8개가 된다.

여기에 비소를 첨가하는 경우, 비소는 Ⅴ족 원소이고 최외각 전자가 5개이므로 그림 Ⅱ-35와 같이 5개의 전자 중에서 4개는 실리콘 원자와 공유 결합하고, 나머지 1개 전자는 실리콘 이온에 약하게 결합되어 있어 거의 자유롭게 이동할 수 있게 된다. 그러므로 도핑에 의해 **전도 전자**를 만들어냄으로써 순수한 실리콘보다 더 좋은 도체로 만들 수 있다.

n형 반도체
: negative type semiconductor

p형 반도체
: positive type semiconductor

이렇게 비소 원자는 전자를 쉽게 전도띠에 제공할 수 있으므로 **주개**라고 한다. 실제로 상온에서 주개 원자가 제공한 전자는 모두 전도띠에 있다. 그러므로 주개 원자를 첨가하여 전도띠의 전자 개수를 많이 증가시킬 수 있다. 이 경우에 불순물이 10^{-6}, 또는 10^{-7} 정도만 되어도 전기 전도도는 상당히 좋아진다.

이처럼 불순물을 주입하여 여분의 전자가 존재하게 되는 반도체를 **n형 반도체**라고 한다. 이는 전하 나르개가 (−)전하로 대전된 전자이기 때문이다. Ⅴ족의 인이나 안티몬(Sb) 등도 n형 반도체를 만드는 불순물로 쓸 수 있다.

이번에는 실리콘에 소량의 갈륨(Ga)을 첨가하는 경우를 생각해 보자.

갈륨 원자는 Ⅲ족 원소이므로 그림 Ⅱ-36과 같이 네 개의 이웃한 원자와 공유 결합을 하여 하나의 갈륨 · 실리콘 결합에는 한 개의 비어 있는 **양공**이 존재한다. 에너지를 약간 얻으면 이웃한 실리콘-실리콘 결합에 참여하던 전자가 이 양공을 메우기 위해 이동해 올 수 있으므로, 이 결합에 의해 양공을 형성하게 된다. 마찬가지로 다른 결합으로부터의 전자도 새롭게 형성된 양공을 채우도록 옮겨올 수 있다. 결국 이러한 식으로 양공은 반도체 안을 이동할

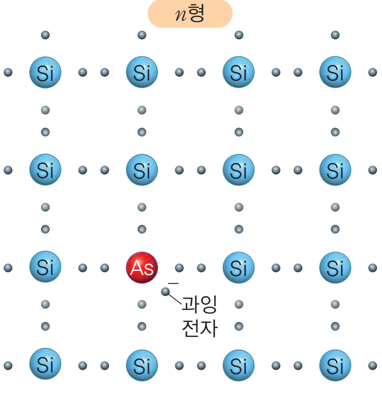


그림 Ⅱ-35 실리콘에 비소를 도핑하면 n형 반도체가 된다.

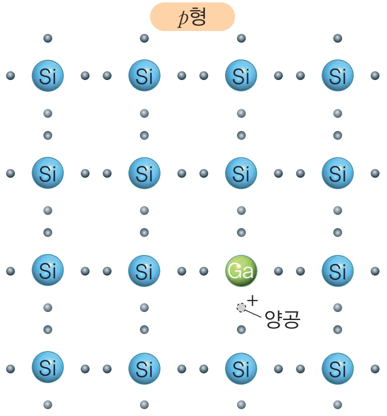


그림 Ⅱ-36 실리콘에 갈륨을 도핑하면 p형 반도체가 된다.

수 있다. 그러므로 도핑을 통해 이번에는 전도 양공을 만들어냄으로써 순수한 실리콘보다 더 좋은 전도체로 만들 수 있다.

갈륨 원자는 이웃한 결합에 참여한 전자, 즉 원자가띠 안에 있는 전자를 쉽게 받아들일 수 있기 때문에 **받개**라고 한다. 받개 원자로 도핑된 반도체를 **p형 반도체**라고 한다. 이는 전하 나르개가 양공이기 때문에 붙여진 것이다. Ⅲ족의 붕소(B), 알루미늄(Al), 인듐(In) 등도 p형 반도체를 만드는 불순물로 사용될 수 있다.

2. 반도체의 이용

반도체는 컴퓨터, 텔레비전, 통신 기기 등 현대생활의 모든 전자기기에 광범위하게 이용되고 있다. 반도체를 이용한 가장 간단한 경우가 $p-n$ 접합이다.

$p-n$ 접합 다이오드

$p-n$ 접합은 한쪽 영역은 p형 반도체가 되게 하고, 다른 이웃한 영역은 n형 반도체가 되도록 선택적으로 도핑한 것이다. 간단히 설명하기 위해 그림 Ⅱ-37과 같이 p형 반도체 막대와 n형 반도체 막대를 붙였다고 가정하자.

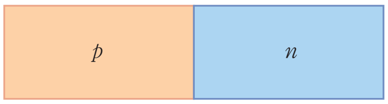
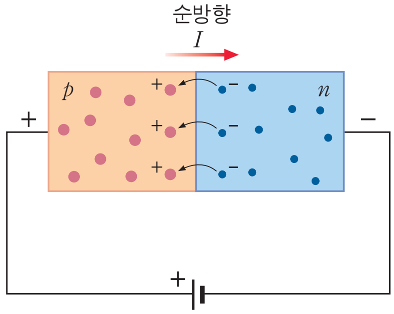
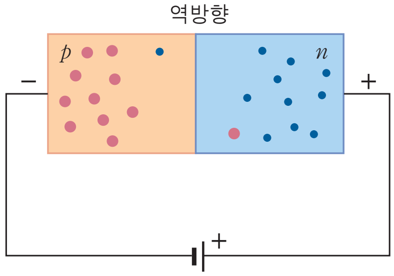


그림 Ⅱ-37 $p-n$ 접합

이렇게 붙여 놓으면 $p-n$ 접합 다이오드가 되며, $p-n$ 접합 다이오드는 한쪽 방향으로는 전류를 흘려보내지만 반대 방향으로는 전류를 흐르게 하지 않는 반도체 소자이다. 왜냐하면 $p-n$ 접합 다이오드는 한쪽 방향의 전류에 대해서는 닫힌 스위치와 같은 역할을 하며, 다른 쪽 방향 전류에 대해서는 열린 스위치와 같은 역할을 하기 때문이다. 이러한 현상을 다이오드의 **정류 작용**이라고 한다.



(가) 전류가 흐름



(나) 전류가 흐르지 않음

그림 Ⅱ-38 $p-n$ 접합 다이오드의 원리

그림 Ⅱ-38을 보면 $p-n$ 접합이 어떻게 전류의 정류 작용을 할 수 있는지 알 수 있다. 그림 (가)에서는 전지의 (+)극 단자는 p형 쪽에 (−)극 단자는 n형 쪽에 연결되어 있다. 이러한 연결을 순방향 전압 연결이라고 한다. 왜냐하면 이러한 연결이 이루어지면 연결하기 전보다 p형은 더욱 양성을 띠게 되고, n형은 더욱 음성을 띠게 되어 양쪽의 전하 나르개들이 접촉면을 통해 이동하게 되므로 순방향 전류가 흐르게 되기 때문이다.

그림 (나)는 역방향 전압 연결이다. 이때 전지의 (−)극 단자는 $p-n$ 접합의 p형 쪽에 연결되고, (+)극 단자는 n형 쪽에 연결된다. 이 경우에는 p형 반도체 속의 양공들은 전지의 (−)극 쪽으로 끌려가고 n형 반도체 속의 전자는 전지의 (+)극 쪽으로 끌어당겨진다. 즉, 양공과 전자는 접합면으로부터 멀어지는 쪽으로 끌어당겨지므로 접합면을 가로지르는 전류가 흐르지 않게 된다.

$p-n$ 접합 다이오드에서 정류 작용이 일어나는 현상을 다음 탐구를 통해 알아보자.

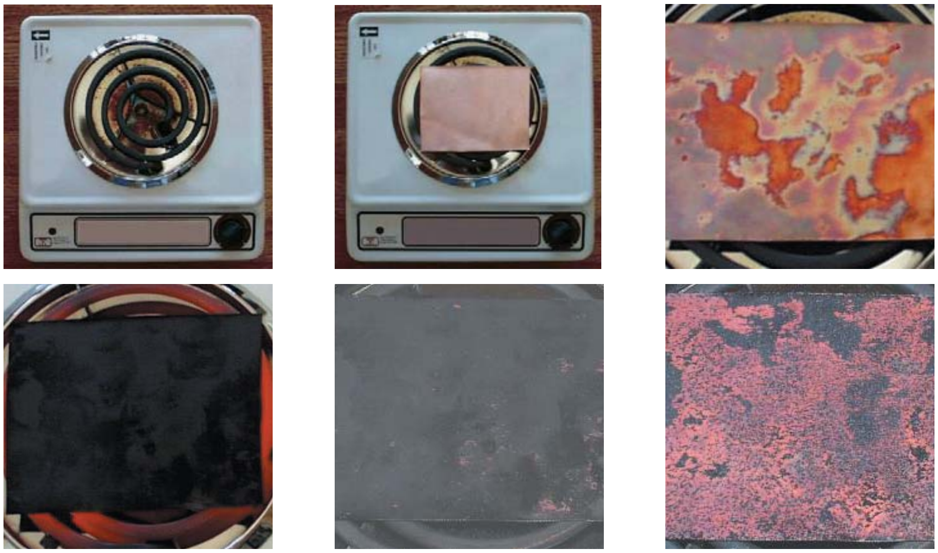
탐구 18 실험 Cu_2O판과 ZnO 가루를 이용한 다이오드 특성 조사

준비물 구리판(10 cm × 10 cm) 두 장, 전기 가열기, 핀셋, 산화아연(ZnO) 가루, 함수 발생기, 오실로스코프, 비닐장갑, 집게 도선

과 정 1. 다음 그림과 같이 구리판을 전기난로 위에 올려놓고, 20분 정도 가열한다.

주의 화상을 입지 않도록 주의한다.

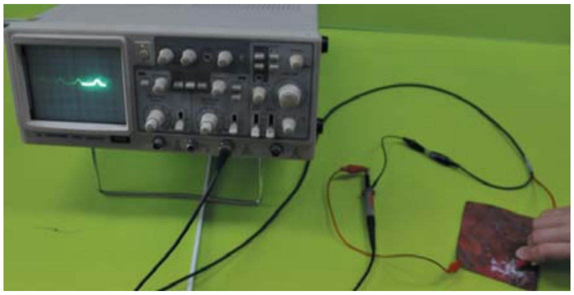
2. 구리판이 검은색으로 산화되면 전기를 끄고 서서히 식힌다.
3. 완전히 식은 후에 흐르는 물로 검은 산화구리(Ⅱ)(CuO)를 벗겨낸다. 그러면 붉은 색의 산화구리(Ⅰ)(Cu_2O)가 나타날 것이다. Cu_2O는 p형 반도체 역할을 하게 된다.



4. 붉은색의 Cu_2O로 덮여 있는 구리판의 한쪽 귀퉁이를 사포로 문질러 구리판이 나오도록 한다.
5. 오실로스코프와 함수 발생기 사이에 Cu-Cu_2O를 연결한다. 이때 함수 발생기의 (+)선을 사포로 문지른 구리판에 연결하고 (−)선은 직접 오실로스코프에 연결한다.
6. Cu-Cu_2O 판에서 Cu_2O가 덮인 부분(붉은색)에 ZnO 가루를 약간 뿌린다.

주의 이때 비닐장갑을 이용하고, 가루를 흡입하지 않도록 한다.

7. 다음 그림과 같이 오실로스코프의 (+)선을 집게 도선에 연결하고, 집게 도선의 금속 부분을 ZnO 가루 위에서 살짝 눌러본다.



8. 장소를 달리하고 압력을 달리하면서 눌러보면 정류가 되는 곳이 있다. 그러한 곳을 찾아 정류 현상을 관찰하고 관찰 결과를 적어보자.

정 리 • 위 실험에서 어느 경우에 다이오드의 특성이 잘 나타났는지 설명하여 보자.

탐구 19 해 보기 **다이오드의 정류 작용**

준비물 함수 발생기, 오실로스코프, 연결 도선, 다이오드

과 정 1. 그림 (가)와 같이 함수 발생기와 오실로스코프를 연결하고 함수 발생기의 주파수를 바꾸면서 오실로스코프에 어떤 파형이 나오는지 관찰해 보자.

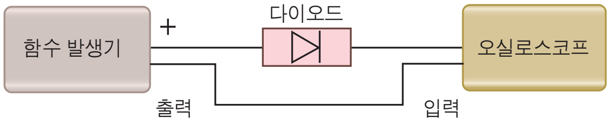
⇨ 오실로스코프에 어떤 파형이 나타나는가?

⇨ 함수 발생기의 주파수를 바꾸면 파형이 어떻게 달라지는가?

2. 그림 (나)와 같이 함수 발생기와 오실로스코프 사이에 다이오드를 연결하고 파형을 관찰해 보자.



(가)



(나)

정 리 1. 과정 1과 2에 나타난 오실로스코프의 파형을 비교하고, 왜 다이오드에 의해 파형이 변화되는지 설명해 보자.

2. 만일 다이오드의 방향을 바꾸어 연결하면 파형이 어떻게 달라질지 예상해 보고, 그 후에 직접 관찰해 보자.

발광 다이오드(LED)

오늘날 금전 출납기, 주유기, 전자레인지, 전자시계 등에서 숫자를 표시하는 반짝이는 빛을 흔히 볼 수 있다. 그리고 눈에 보이지는 않지만 엘리베이터 문을 제어하고 텔레비전을 리모컨으로 조종하기 위해 적외선을 사용한다. 이러한 빛은 그림 Ⅱ-39와 같이 거의 대부분 $p-n$ 접합으로 만든 발광 다이오드를 통하여 얻어진다.

이러한 $p-n$ 접합은 어떻게 빛을 만들어낼까?

반도체에서 전도띠의 바닥에 있던 전자가 원자가띠의 꼭대기에 있는 양공으로 떨어지면 그 사이 띠틈에 해당하는 만큼의 에너지가 방출된다. 실리콘, 게르마늄 등의 반도체에서는 방출된 대부분의 에너지가 원자의 진동 열에너지로 소모된다. 그러나 갈륨비소와 같은 일부 반도체에서는 띠틈 에너지에 해당하는 진동수의 빛을 방출한다.

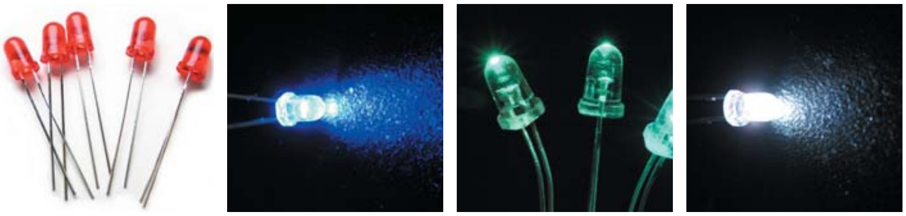


그림 Ⅱ-39 여러 가지 발광 다이오드

즉, $hf=E_g$가 되므로 이때 방출되는 빛의 진동수는 $f=\frac{E_g}{h}$가 된다.

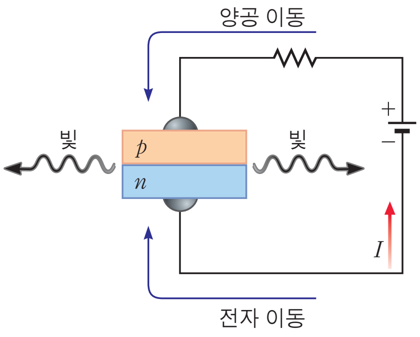


그림 Ⅱ-40 LED 원리

LED(Light Emitting Diode)로 사용하기에 충분한 만큼의 빛을 얻기 위해서는 사용하는 물질이 많은 수의 전자·양공 전이를 일으켜야 한다. 그러므로 LED로 쓰이기 위해서는 많은 수의 전자가 전도띠에 있고, 또 많은 수의 양공이 원자가띠에 있는 반도체 물질이 필요하다. 이러한 특성을 갖는 소자는 강하게 도핑한 $p-n$ 접합에 그림 Ⅱ-40처럼 강한 순방향 전압을 가함으로써 만들어질 수 있다. 이렇게 하면 소자를 흐르는 전류가 n형 쪽에는 전자를 공급하고, p형 쪽에는 양공을 공급하는 역할을 한다. 도핑이 강하고, 전류가 충분히 크면 n형 쪽에 있는 많은 전자와 p형 쪽에 있는 많은 양공이 매우 가까이 있게 되어, 이 영역에서 전자·양공 재결합이 많이 일어나 빛이 발생한다. 적절하게 배열된 $p-n$ 접합에 전류를 흘려주면 빛이 발생하며, 반대의 경우도 성립한다. 즉, 적절하게 배열된 $p-n$ 접합에 빛을 비추면 전류가 발생한다. TV의 리모컨을 누를 때 그 안의 LED 소자는 적외선 신호를 내보낸다. TV안에서 신호를 받는 소자는 두 개의 단자를 가진 간단한 형태의 광다이오드인데, 적외선을 검출하고 신호를 증폭하여 채널을 바꾸거나 음량을 조절하는 등의 기능을 하는 전기적인 신호로 변환시킨다.

트랜지스터

트랜지스터는 두껍게 도핑한 두 조각의 같은 형의 반도체와 반대의 극성으로 도핑한 얇은 조각의 반도체를 접합하여 만든다. 샌드위치 모양의 두 바깥 조각으로 사용하는 도핑 형태에 따라 $p-n-p$ 또는 $n-p-n$ 접합 등이 만들어질 수 있다.

그림 Ⅱ-41은 $p-n-p$ 트랜지스터가 어떤 원리로 작동하는지를 나타낸 것이다. 트랜지스터는 베이스라는 중간 부분을 공유한 두 다이오드의 결합으로, 세 부분으로 나누어진다. 세 부분은 각각 이미터, 베이스, 컬렉터라고 한다. 왼쪽 회로에 전류가 흐르지 않으면, 오른쪽 회로의 저항에는 전류가 아주 약하다. 왜냐하면 베이스와 컬렉터 사이에 걸리는 전압이 역방향이기 때문이다. 그러나 이미터와 베이스 사이에 순방향 전압이 걸리면 이미터에서 베이스로 이동하는 많은 양공이 매우 얇게 도핑된 베이스를 관통하여 컬렉터가 있는 회로를 흐르면서 저항으로 흘러갈 수 있게 된다. 이러한 방법으로 컬렉터 회로를 흐르는 전류는 이미터 회로에서의 전류에 의해 조절될 수 있다. 또한 컬렉터 회로에 걸어준 전압 V_c를 이미터 회로에 걸어준 전압 V_e에 비해 훨씬 크게 하면 저항 R에서 얻어지는 전력을 크게 할 수 있다.

다음 탐구를 통해 매우 적은 베이스 전류로 큰 컬렉터 전류가 흐르는 원리를 알아보자.

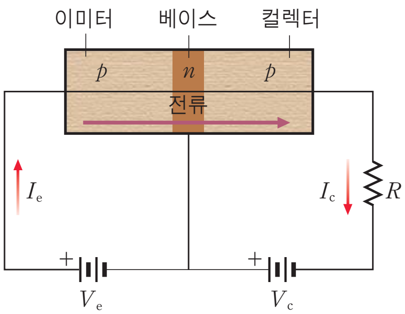


그림 Ⅱ-41 $p-n-p$ 접합 트랜지스터 작동 원리

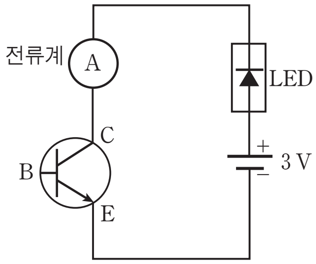
탐구 20 실험

트랜지스터의 증폭 작용

준비물 n-p-n형 트랜지스터(C1815), 1 μA도 측정 가능하고 최대값이 50~100 μA인 검류계, 전류계, 발광 다이오드, 1.5 V 건전지 (3개)와 전지 홀더, 500 kΩ 가변 저항, 연결선

과 정 1. 3 V전지에 트랜지스터의 컬렉터(C)와 이미터(E)에 전류계와 발광 다이오드를 직렬로 연결해 보자.

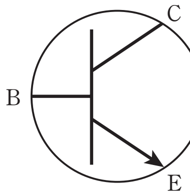


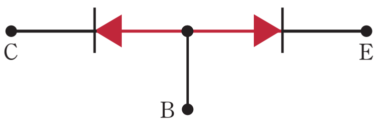




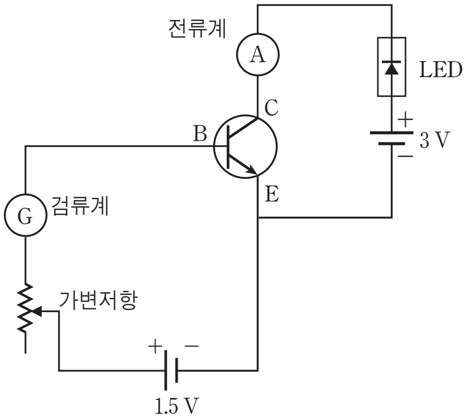
유의 이때 3 V전지의 (−)극은 트랜지스터의 이미터(E)에 연결하도록 하고, 발광 다이오드는 다리가 긴 쪽을 (+)극에 연결해야 한다.

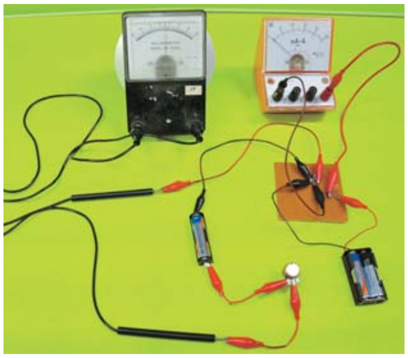
⇨ 다이오드에 불이 켜지는가? 그 까닭을 설명하기 위해 n-p-n형 트랜지스터가 다음 그림과 같이 두 개의 다이오드가 연결된 구조로 되어 있다는 점을 활용하여라.





2. 1.5 V 건전지와 트랜지스터의 베이스(B)와 이미터(E)에 검류계와 500 kΩ 가변 저항기를 직렬로 연결해 보자.





⇨ 가변 저항기를 최대로 맞추어 검류계 눈금이 0일 때, 전류계의 눈금은 얼마인가?

3. 가변 저항기를 천천히 줄이면서 발광 다이오드가 켜지도록 해 보자.

⇨ 발광 다이오드가 켜질 때 베이스 전류(I_B)는 얼마인가? 이때 컬렉터 전류(I_C)는 얼마인가?

⇨ 작은 베이스 전류(I_B)로 큰 컬렉터 전류(I_C)를 흐르게 할 수 있는가?

4 신소재

학습 목표

1. 초전도체의 성질과 이용에 대해 이해한다.
2. 유전체의 성질과 이용에 대해 이해한다.
3. 액정의 성질과 이용에 대해 이해한다.



오늘날 자기 부상 열차, 디지털 텔레비전, 태블릿 컴퓨터 및 각종 전자 제품에 사용되는 소재로는 초전도체, 유전체, 액정 등이 있다.

이러한 신소재들의 기본 성질은 무엇일까? 그리고 어떻게 이용될까?

1. 초전도체

초전도체와 임계 온도

1911년 오너스는 수은의 온도를 낮추면 4 K에서 전기 저항이 갑자기 0이 되는 현상을 발견하였다. 4 K 이하에서는 수은에 전류가 한 번 흐르기 시작하면 외부에서 전력을 공급하지 않아도 무한히 전류가 흐를 수 있다는 것이다. 그림 Ⅱ-42는 수은의 저항이 4.2 K에서 0이 되는 것을 측정한 결과인데, 이를 **초전도 전이**라 하고 초전도 전이가 일어나는 온도를 **임계 온도** 혹은 **전이 온도**라 하며, T_c로 나타낸다. 따라서 임계 온도보다 낮은 온도에서는 전기 저항이 0이 되는 것이다. 과학자들의 계속된 연구 결과 다른 금속도 온도를 충분히 낮추면 초전도 상태가 된다는 것을 알게 되었다. 나이오븀(Nb)이라는 금속은 임계 온도가 9.2 K으로 순수한 물질 중에서는 가장 높은 임계 온도를 갖는다. 합금이 되면 이보다 더 높은 임계 온도를 가지기도 하는데, 나이오븀과 게르마늄의 합금 임계 온도는 23 K이다.

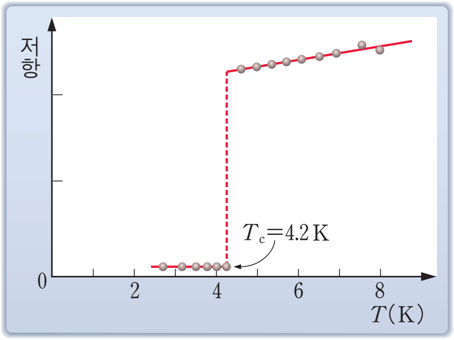


그림 Ⅱ-42 수은 초전도체의 임계 온도

1986년에는 금속의 산화물, 즉 세라믹이라고 하는 물질에서 초전도성을 갖는 새로운 화합물 초전도체가 발견되었다. 처음 발견된 세라믹 초전도체는 그 임계 온도가 28 K으로 금속의 합금 초전도체와 비슷한 정도의 임계 온도를 가졌다. 그러나 그 후 수많은 실험이 이루어지면서 1987년에는 그 임계 온도가 57 K에 이르는 세라믹 초전도체가 발견되었으며, 1988년에는 임계 온도가 100 K 이상인 초전도체가 발견되었다. 현재까지 150 K의 임계 온도를 갖는 물질이 보고되기도 하였다.

이처럼 초전도체의 임계 온도가 냉각재로 사용되는 액체 질소의 끓는점인 77 K 보다 높다는 것은 초전도체를 실용화하는데 있어서 매우 중요한 의미를 갖는다. 왜냐하면 액체 질소는 액체 헬륨에 비해 값이 싸며 쉽게 얻을 수 있기 때문이다.

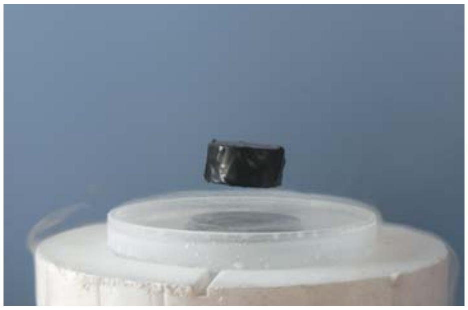
오너스(Onnes, H. K.; 1853~1926)
네덜란드의 물리학자. 저온 물리학의 개척자이다. 1908년 처음으로 헬륨의 액화에 성공하였으며, 1911년 수은의 온도가 4 K 이하로 내려갈 때 전기 저항이 갑자기 사라지는 초전도 현상을 발견하였다. 이러한 업적으로 1913년 노벨 물리학상을 받았다.

세라믹
사람이 인위적으로 열을 가해서 만든 비금속 무기 재료를 말한다. 재료는 유기 재료와 무기 재료로 나눌 수 있고, 무기 재료는 또 금속과 비금속으로 나뉘는데, Na, Mg, K, Ca 등 금속 양이온으로만 구성되어 있는 경우 금속 재료라고 부르며, 이런 금속원소들이 음이온과 결합하여 만들어진 물질들을 비금속 무기 재료라고 한다.

탐구 21 실험 **마이스너 효과 실험**

- **준비물** 고온 초전도체, 액체 질소, 네오디뮴 자석 4개, 집게, 면 장갑, 스타이로폼 컵

- **과 정**
  1. 스타이로폼 컵 용기에 초전도체를 담고, 초전도체에 네오디뮴 자석을 올려놓는다.
     ⇨ 어떤 현상이 일어나는가?
  2. 초전도체를 담은 용기에 액체 질소를 붓는다.
     주의 액체 질소를 직접 손으로 만지면 동상의 위험이 있으므로 반드시 장갑을 끼고, 액체 질소에 접촉하지 않도록 주의한다.
     ⇨ 어떤 현상이 일어나는가? 그리고 얼마나 오랫동안 떠 있는가?
  3. 이번에는 네오디뮴 자석을 한 개 놓고 그 위에 액체 질소에 넣어 두었던 초전도체를 올려놓아 보자.
     ⇨ 어떤 현상이 일어나는가?
  4. 네오디뮴 자석 4개를 모아 놓고 그 위에 액체 질소에 넣어 두었던 초전도체를 올려놓아 보자.
     ⇨ 어떻게 되는가?



- **정 리**
  1. 초전도체 위에 자석을 놓았을 때 뜨게 되는 원리를 토의해 보자.
  2. 이 현상을 자기 부상 열차에 어떻게 이용할 수 있겠는지 토의해 보자.
  3. 네오디뮴 자석이 잠시 떠있다가 다시 초전도체 위에 내려 앉는 까닭은 무엇인지 설명해 보자.

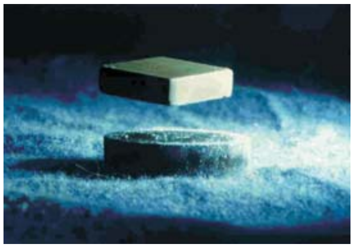


그림 Ⅱ-43 초전도체 주변의 자기장

초전도체의 자기적 성질

임계 온도 이하에서 초전도체는 전기 저항이 0이 되는 현상 외에도 마이스너 효과라고 하는 특별한 자기적 특성을 가진다. 초전도체는 임계 온도보다 높은 온도에서는 상자성을 띠지만 임계 온도보다 낮은 온도에서는 초전도체 상태가 되어 내부의 자기장이 0이 되는 특성을 가진다. 따라서 그림 Ⅱ-43과 같이 초전도체 위에 자석을 올려놓으면 초전도체 표면에 전류가 유도되어 초전도체 내부의 자기장이 0인 상태를 유지한다. 반면 자석은 초전도체로부터 밀어내는 반발력을 받아 위로 뜨게 된다.

연구 10. 보통 전자석은 저항에 의한 열손실이 발생하므로 많은 전력이 필요하다고 한다. 왜 그런지 설명해 보자. 또 자기 부상 열차에 전자석을 이용하는 것과 초전도체를 이용하는 것의 장단점을 비교해 보자.

창의력 2. 실온에서 임계 온도를 갖는 초전도체가 있다면 우리 생활 어떤 곳에 적용될 수 있을지 생각하여 보자.

초전도체는 매우 다양한 분야에서 이용되고 있다. 손실이 거의 없는 송전선, 강한 자기장이나 안정된 자기장을 발생시키는 초전도 자석, 에너지 저장 장치, 모터, 발전기 등 큰 전류를 발생시키거나 전력을 수송하는 데 이용된다. 뿐만 아니라 자기 부상 열차나 초전도 추진 선박과 같은 교통수단, 뇌나 심장의 자기장을 측정하여 건강 상태를 진단하는 의료 장비 등 그 활용 분야가 매우 다양하다.

2. 유전체

유전체는 절연체와 동등한 물질 범주에 속하며, 전기장 속에서 전류가 흐르지는 않지만 전하를 축적하는 것은 가능하다. 자성체에 상자성체와 강자성체가 있듯이 유전체에도 상유전체와 강유전체가 있다. 특히 강유전체 중에서도 세라믹과 같은 산화물 강유전체는 모두 높은 유전율을 가지고 있어서 축전기에 많이 쓰인다.

서미스터(thermistor)



저항기의 일종으로, 온도에 따라 물질의 저항이 변하는 성질을 이용한 전기적 장치이다. 열가변 저항기라고도 하며, 주로 회로의 전류가 일정 이상으로 흐르는 것을 방지하거나, 회로의 온도를 감지하는 센서로 이용된다.

세라믹 유전체

많은 축전기 재료가 강유전체 물질 중 하나인 타이타늄산바륨($BaTiO_3$)을 기초로 하여 형성되어 있다. 이 물질은 세라믹 유전체에 속한다. 넓은 온도 범위에서 유전율이 높은 물질이라야 축전기에 유용하게 쓰일 수 있는데, 세라믹 유전체는 그 조건을 갖추고 있다.

유전체는 온도 센서, 서미스터 등에도 사용된다. 이산화바나듐(VO_2)은 임계 온도 서미스터에 많이 사용된다. 이산화바나듐은 그림 Ⅱ-44에서 보는 바와 같이, 80℃ 이하에서는 저항이 크게 증가하고, 80℃ 이상에서는 전도성이 크게 증가하여 금속적인 성질을 가지고 있다. 즉, 80℃ 이상에서는 온도에 의해 저항 값이 크게 변하지 않는다.

NTC 서미스터는 전기 저항이 온도에 따라 지수함수적으로 감소하는 특성을 가진다. 대부분의 NTC 서미스터는 불순물 주입형의 천이 금속 산화물로 이루어져 있는 반도체 물질이다.

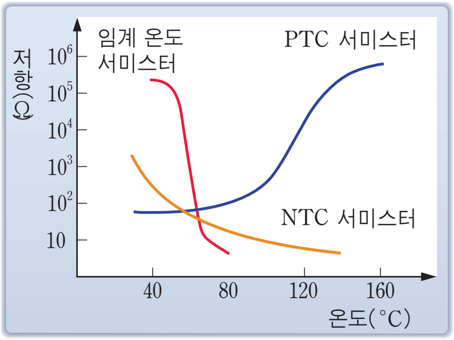


그림 Ⅱ-44 서미스터의 온도에 따른 저항 특성

PTC 서미스터는 저항이 온도에 따라 증가하지만, 이 증가는 상전이점의 부근 온도까지만으로 한정된다. 이 온도 부근에서는 저항값 변화가 대단히 크다. 타이타늄산바륨 세라믹은 PTC 서미스터의 재료로 널리 이용되고 있다. 이 타이타늄산바륨은 130℃ 이상에서는 상유전체이며, 이 온도 이하에서는 강유전체가 된다.

금속 산화물 배리스터

금속 산화물 배리스터의 특성은 그림 Ⅱ-45와 같이 전압에 따른 전류의 변화율이 다르다는 것이다. 낮은 전압에서는 금속 산화물 배리스터는 온도 의존성이 낮다.

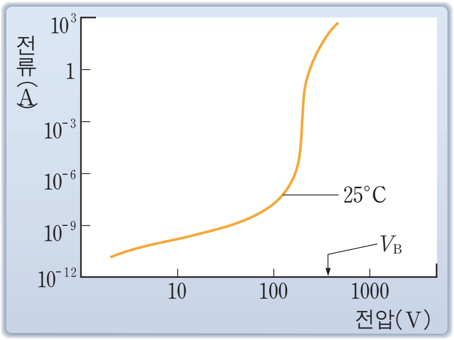


그림 Ⅱ-45 산화아연 배리스터의 전기적 특성

배리스터(Varistor)

Variable Resistor의 약어로 대칭적인 $V-I$ 특성 곡선을 갖고, 전압이 증가함에 따라 저항이 감소하는 특성을 나타낸다. 배리스터는 보호하고자 하는 부품이나 회로에 병렬로 연결하여 전압이 과도하게 증가하면 낮은 저항 회로를 형성하여 과도 전압이 더 이상 상승하는 것을 막아준다.

그러나 특정 임계 전압에서는 저항값이 갑자기 적어져서 전류가 비약적으로 증가한다. 현재 금속 산화물 배리스터의 대부분은 소량의 첨가물을 함유한 산화아연(ZnO)으로 형성되어 있다. 금속 산화물 배리스터는 정류기 등에서 발생하는 이상 전압으로부터 회로 소자를 보호하기 위해 사용한다.

압전 변환 소자

압전 변환 소자는 역학적 에너지를 전기 에너지로 변환하거나 그 반대로 전기 에너지를 역학적 에너지로 변환하는 소자를 말한다. 즉, 힘을 가하면 그 힘에 비례하는 전기가 생기고 또 전기장 속에 두면 기계적인 변형이 생기는 현상을 이용하는 소자이다. 그러므로 압전 변환 소자는 마이크 등과 같이 기계 진동을 전기 진동으로 변환하는 것과 스피커 등과 같이 전기 진동을 기계 진동으로 변환하는 것이 있다. 매우 재미있는 전기적 특성을 지닌 것으로 알려진 세라믹 금속 산화물의 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 예로 바륨, 타이타늄, 그리고 산소의 화합물인 타이타늄산바륨은 압력의 변화를 전기 신호로, 또는 그 반대로 전기적인 신호를 압력으로 변환시키는 데 사용되어 왔다. 이러한 특성은 타이타늄산바륨이 작은 마이크나 스피커에 사용되도록 하였다.

3. 액정(Liquid Crystal)



그림 Ⅱ-46 액정 속의 분자 배열

액정은 넓게 이용되고 있는 신물질 중의 하나이다. 액정은 방향성을 가진 결정성 유기체로서 액체의 상을 가지기 때문에 물질 속에서 다른 방향을 따라 흐르기도 한다. 즉, 액체와 고체 성질을 모두 가지고 있다. 액정이라고 하는 명칭은 이 신물질이 액체의 유동적 성질과 결정의 성질을 함께 가지고 있기 때문에 붙여진 이름이다.

액정은 그림 Ⅱ-46에서처럼 층 속에서 일렬로 늘어선 긴 유기 분자로 구성되어 있다. 이러한 층은 서로를 따라 미끄러져 움직이므로 이 액정은 층에 평행한 방향으로 흐를 수 있다. 이러한 층과 수직한 일정한 간격이 결정 같은 특성을 생기게 한다.

디스플레이 종류

- 액정 디스플레이(Liquid Crystal Display, LCD)
- 플라스마 디스플레이(Plasma Display Panel, PDP)
- 유기 EL(Organic Electro-Luminescence)

여기서는 액정 디스플레이에 대해 좀 더 구체적으로 알아보자.

액정 디스플레이(LCD)는 뒷면에서 백색광을 비추고, 두 장의 유리판 사이에 들어 있는 고체와 액체의 중간 특성을 가진 유기 분자인 액정과 편광판이 LCD에 가해지는 전압에 따라 셔터 역할을 하면서 빛을 통과시키거나 차단시키고, 액정 셔터를 통과한 빛이 컬러 필터에 의해 빨간색(R), 초록색(G), 파란색(B) 빛으로 바뀌는 과정에서 천연색을 구현하면서 도형, 문자, 영상 등을 표시하는 장치이다.

LCD는 1970년대 시계나 전자계산기의 표시 창 등으로 제한적으로 사용되기 시작했으나 오늘날에는 휴대 전화, 디지털 카메라, 노트북 컴퓨터와 모니터 화면으로

과학과
생활

가스레인지 안의 압전 물질

요즈음 가정집의 주방에는 조리를 위해서 가스레인지가 사용되고 있고, 야외에서 음식을 만들기 위해서도 석유를 사용하는 버너 대신에 휴대용 가스버너를 많이 사용한다. 이 가스레인지의 손잡이를 돌리면 가스가 나오기 시작하고, 손잡이를 끝까지 돌리면 '딱' 하는 소리와 함께 불꽃이 발생하여 가스에 불을 붙이는 것을 볼 수 있다.

수정, 로셸염, 타이타늄산바륨 등과 같은 결정에 외부의 힘이 가해지면 힘에 비례하는 전기가 발생한다. 반대로 결정에 전압을 가하면 결정이 수축하거나, 팽창을 하게 된다. 이러한 현상을 압전 효과라고 한다. 압전 효과는 기계적인 변화를 전기적인 변화로 바꿀 수 있고, 반대로 전기적인 변화를 기계적인 변화로 바꿀 수 있기 때문에 매우 유용한 성질이며, 우리의 일상생활에서 많이 사용하고 있다.

가정에서 사용하는 가스레인지에는 압전 효과를 일으킬 수 있는 압전 재료가 들어 있어 손잡이를 돌리는 것으로 압전 재료에 힘을 가해주어 높은 전압을 만들게 된다. 가스레인지의 불꽃이 나오는 부분을 자세히 살펴보면 압전 효과를 일으키는 부분이 있다. 압전 재료에서 발생한 높은 전압을 이곳에 연결해 주면 전기 방전으로 순간적인 스파크가 발생한다. 결과적으로 이 스파크가 가스에 불을 붙이게 된다.





그 용도가 급속히 확대되더니 이제는 가정용 텔레비전의 한 종류로 자리 잡았다.

액정 분자는 온도가 높을 때에는 정렬 방향이 제멋대로여서 임의의 방향을 가리키지만 온도가 낮아져서 실온 근처가 되면 모두 한쪽 방향으로 정렬을 하려는 경향이 있다. 액정 분자를 서로 직교하는 편광판이 붙어 있는 두 장의 얇은 유리판 사이에 가두어 놓으면 그림 Ⅱ-47과 같은 액정 셀이 만들어진다.

그렇다면 두 장의 직교하는 편광판 사이에 갇힌 액정 분자는 어떤 원리로 액정 셀을 통과하는 빛의 흐름을 조절할 수 있는 것일까?

액정 분자를 가두는 두 장의 유리판의 안쪽에 특수한 처리를 하면 액정 분자는 그림 Ⅱ-47의 (가)와 같이 나선형으로 꼬이면서 누워 있는 상태로 된다. 이렇게 꼬여

유기 분자
유기 분자란 탄소를 함유한 분자를 말한다.

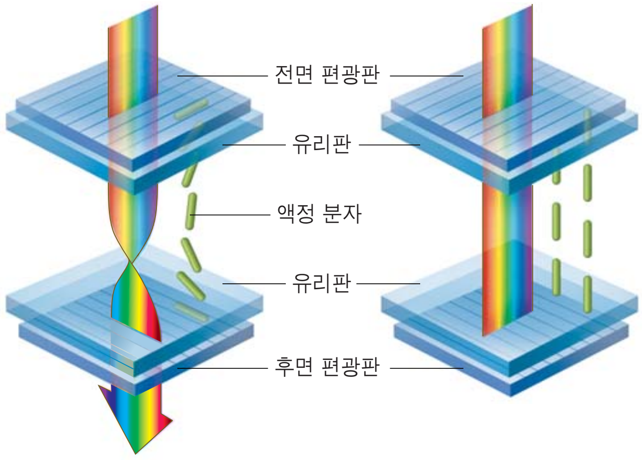


그림 Ⅱ-47 액정 표시 장치의 작동 원리

편광판과 빛의 진행

빛은 횡파이므로 진행 방향에 대해 수직인 방향으로 전기장 성분이 진동하는데, 이 진동 방향이 바로 그 빛의 편광 방향이다. 편광판이란 일정한 방향의 편광 성분을 갖는 빛만을 통과시키는 광학 부품이다. 서로 수직으로 직교하는 편광판 두 장을 겹쳐 놓으면, 첫 번째 편광판을 통과한 빛의 편광 방향은 두 번째 편광판과 수직이므로 통과되는 빛은 거의 없게 된다.

있는 액정 분자는 첫 번째 편광판을 통과한 빛의 편광 상태를 꼬여 있는 액정 분자를 따라 돌게 하면서 두 번째 편광판을 빠져 나오게 한다. 그렇지만 만약 액정 셀에 전압을 가해서 액정 분자를 그림 (나)와 같이 유리판에 대해 모두 서 있게 하면 빛의 편광 상태가 변하지 않으므로 빛이 거의 통과하지 못하게 된다.

많은 액정 분자는 긴 방향의 한쪽에 (+)전하를, 다른 한쪽에는 (−)전하를 띠고 있는데, 이런 분자에 전압을 가해서 분자를 쉽게 돌릴 수 있다. 가해주는 전압의 세기에 따라 액정 분자의 틀어지는 정도가 결정되고, 이것은 다시 액정 셀을 빠져 나오는 빛의 양을 조절한다. 이 원리를 이용하여 LCD는 들어 오는 빛의 양을 조절하여 통과시키는 셔터의 역할을 한다고 볼 수 있다.

창의력 3. 미래에 인간이 만들 것으로 예상되는 전자 제품을 한 가지 이상 생각하여 보고 그 원리를 설명하라. 또 그 전자 제품을 만드는 데 필요한 신소재는 어떤 것들이 있을지 생각하여 보자.



액정 화면(LCD)

과학사

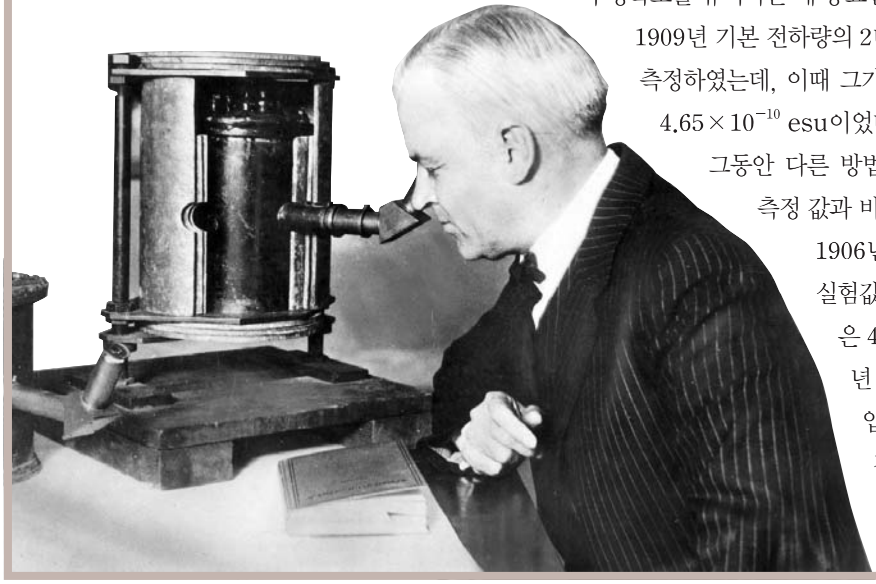
밀리컨과 여러 과학자들의 전자 전하량 측정 노력

밀리컨이 전자의 전하량을 측정하기 이전에 몇몇 물리학자들은 다양한 방법으로 전자의 전하량을 측정했었다. 1903년 톰슨의 제자이었던 윌슨은 과거 톰슨이 사용하였던 수증기를 이용한 안개상자 방법을 개량해서 전자의 전하량을 측정하는 데 성공하였다. 이때 윌슨이 사용한 방법은 급격한 팽창에 의해 이온화된 안개상자에 생성되는 안개가 중력에 의해 하강하는 비율을 측정하고, 이와 유사한 안개에 방향이 반대인 전기장을 가해서 안개 방울의 하강 속도 비율을 비교해서 전자의 전하량을 측정하는 것이었다. 당시 윌슨은 전자의 전하량으로 2.0×10^{-10} esu에서 4.4×10^{-10} esu에 걸치는 11개의 값을 측정해서 평균 3.1×10^{-10} esu의 값을 얻었는데, 같은 해 톰슨도 유사한 방법을 사용해서 3.4×10^{-10} esu의 값을 얻었다. 당시에는 전하량의 단위로 esu를 사용하였으며, 1 C은 약 3×10^{9} esu에 해당한다.

1903년 윌슨이 측정한 전하량 값은 편차가 심했고, 밀리컨은 그것이 X선 관에 의한 이온화 때문이라고 생각하였다. 1907년부터 밀리컨은 그의 학생 베거먼과 함께 라듐을 이온화 장치로 사용해서 윌슨의 방법을 개량하였다. 이 방법을 이용해서 1908년 밀리컨은 전자의 기본 전하량으로 3.66×10^{-10} esu에서 4.37×10^{-10} esu에 걸친 값을 얻었는데, 그 평균은 4.06×10^{-10} esu이었다. 1909년에 들어와서도 밀리컨은 전자의 기본 전하량을 측정하기 위한 자신의 실험 방법을 계속 개량해 나갔다. 우선 윌슨의 실험 장치와 그동안 그와 베거먼이 사용한 실험 장치에서는 물방울을 관찰하는 동안 물방울이 기화한다는 문제점이 있었기 때문에 이런 한계점을 극복할 수 있는 다양한 방법이 추구되었다. 또한, 그동안의 실험 장치에서는 중력장에서 떨어지는 물방울과 전기장을 함께 가했을 때 떨어지는 물방울의 질량이 같은 것으로 가정하고 있었는데, 이 점을 보완하는 것도 정확한 측정을 위해서는 극복해야만 할 과제였다. 밀리컨은 실험 조건을 다양화하기 위하여 물 이외에 알코올을 동시에 실험에 활용하여 보았다. 물과 알코올 방울 하강 실험에서 문제가 되는 것은 하강 속도, 반경, 밀도, 유체의 점성도와 관련된 물리 법칙의 유효성을 얼마나 인정할 수 있는지와 물로 포화한 공기와 알코올로 포화한 공기 중에서 점성도를 정확하게 측정하는 일이었다. 또한, 정전기장 내에서 단일하게 하전된 방울을 만들어내는 것도 실험의 정확도를 유지하는 데 중요한 요소였다.

1909년 기본 전하량의 2배에서 6배에 해당하는 전하량을 측정하였는데, 이때 그가 얻은 전자의 기본 전하량 값은 4.65×10^{-10} esu이었다. 밀리컨은 자신이 얻은 값을 그동안 다른 방법으로 얻은 전자의 기본 전하량 측정 값과 비교하였다.

1906년 플랑크가 흑체 복사 이론에서 실험값으로부터 이론적으로 얻어낸 값은 4.69×10^{-10} esu이었으며, 1908년 러더퍼드가 전기적 방법으로 α 입자의 전하량을 측정해서 얻은 값은 4.65×10^{-10} esu이었다.



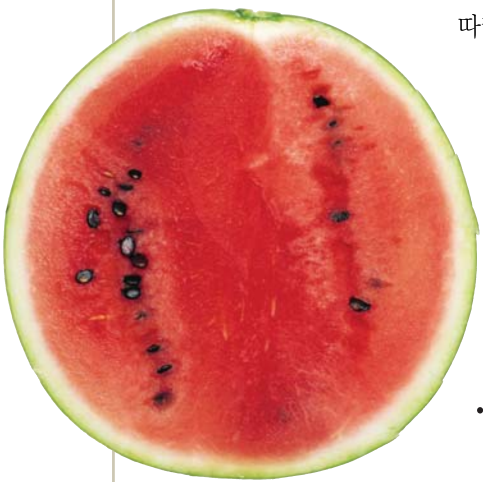
02 물질의 구조와 성질
중단원 마무리

한눈에 보기

- 물질의 구조와 성질
  - 원자의 구조
    - 원자 모형의 발전
    - 에너지 준위
  - 에너지띠 이론과 물질의 전도성
    - 에너지띠 이론
    - 물질의 전도성
  - $p-n$ 접합과 반도체 소자
    - p형 반도체와 n형 반도체
    - $p-n$ 접합의 원리
    - 반도체 소자
  - 신소재
    - 초전도체
    - 유전체
    - 액정

되짚어 보기

- 원자는 양자화된 에너지 준위를 가진다.
- 보어의 원자 모형에 의하면 전자의 궤도 반지름과 궤도 에너지가 양자화되어 있다.
- 고체에서 도체는 점유된 최상위 에너지띠가 완전히 차 있지 않은 물체이다.
- 고체에서 부도체는 원자가띠와 전도띠의 간격인 띠틈이 넓어 전자가 이동하기 매우 어려운 물체이다.
- 고체에서 반도체는 띠틈의 간격이 비교적 좁아 상황에 따라 전자의 이동이 가능한 물체이다.
  - n형 반도체는 불순물을 주입하여 여분의 전자가 존재하게 되는 물질이다.
  - p형 반도체는 불순물을 주입하여 여분의 양공이 존재하게 되는 물질이다.
  - 반도체를 이용한 장치인 반도체 소자에는 접합 정류기(다이오드), 발광 다이오드(LED), 트랜지스터, 집적 회로 등이 있다.
  - 초전도체가 되면 초전도체 내부의 자기장이 0이 되는데, 이러한 현상을 마이스너 효과라고 한다.
- 세라믹과 같은 강유전체 물질은 온도에 따라 특이한 저항 변화를 보인다.



|주요용어|

에너지 준위
원자
선스펙트럼
연속 스펙트럼
$p-n$ 접합
집적 회로(IC)
초전도체
액정
도체
절연체
반도체
원자가띠
전도띠
띠틈
수소 스펙트럼 계열
에너지 양자화
에너지띠
접합 정류기(다이오드)
발광 다이오드(LED)
마이스너 효과

확인하기

1 원자의 대부분의 질량은 원자의 안쪽에 몰려 있는가? 아니면 바깥 쪽에 몰려 있는가? 왜 그렇게 생각하는가?

2 어떤 X선 빔의 파장이 1.5×10^{-10} m라고 하면 진동수는 몇 HZ인가?

3 어떤 에너지 준위에 있던 전자가 더 낮은 에너지 준위로 전이했다면 빛을 방출하는가? 또는 흡수하는가?

4 갈륨(Ga)을 규소(Si)에 도핑하면 n형과 p형 반도체 중에서 어느 것이 되는가?

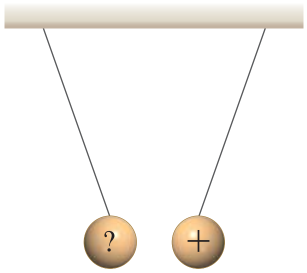
5 초전도체에서 임계 온도란 무엇인가?

6 액정은 액체인가, 고체인가?

단원 마무리

단원평가

1 오른쪽 그림과 같이 (+)전하로 대전된 물체를 걸어놓고 그 물체 왼쪽에 부도체인 공을 가져갔더니 두 물체는 서로 당기며 가까워졌다. 가까이 가져간 공이 (−)전하로 대전된 것인지 아니면 전기적으로 중성이었는지를 알 수 있는가? 알 수 없다면 어떤 실험을 추가적으로 해야 하는가?



2 어떤 전하 Q가 q와 $Q-q$의 두 부분으로 나누어져 있다. 어떤 거리만큼 떨어져 있는 이 두 전하 사이의 반발력이 최대가 되려면 q는 얼마이어야 하는가?

3 자석 내부에 형성되는 자기장의 방향은 어떠한가? 자석 내부에서의 자기장을 자기력선으로 그려라.

4 가시광선은 전자기파인가? 왜 그렇게 생각하는가?

5 어떤 광자의 파장이 630 nm(빨강)라고 하면 이 광자의 진동수는 얼마인가? 또, 이 광자의 에너지는 몇 J인가? (단, $h=6.6\times10^{-34}$ J·s이다.)

6 반도체에서 띠틈이란 무엇을 의미하는가?

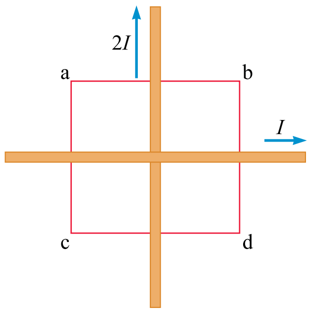
7 압전 변환 소자란 무엇을 말하는가?

8 초전도체가 되면 초전도체 내부의 자기장은 어떻게 되는가?

9 다음 중 고온 초전도체의 의미로 옳은 것은?

① 임계 온도가 100 K 이상인 초전도체를 말한다.
② 임계 온도가 100 ℃ 이상인 초전도체를 말한다.
③ 임계 온도가 상대적으로 높은 초전도체를 말한다.
④ 액체 질소 온도보다 높은 온도에서 초전도체가 되는 물체를 말한다.

10 오른쪽 그림은 전류 I와 $2I$가 각각 흐르는 무한히 긴 두 직선 도선의 일부를 나타낸 것이다. 각각의 도선에서 같은 거리만큼 떨어진 네 지점 a, b, c, d에 형성되는 자기장의 세기를 크기순으로 나열하라.



11 다음은 세 과학자가 제시한 원자 모형에 대한 가설을 나타낸 것이다.

(가) 연속된 (+)전하의 분포 속에 (−)전하가 띄엄띄엄 박혀 있다.
(나) (+)전하를 가진 입자가 원자 내의 가운데 좁은 부분에 모여 있다.
(다) 전자는 (+)전하 주변을 특정 조건을 만족하는 궤도만 원운동을 한다.

제시된 가설과 관련된 설명을 다음 〈보기〉에서 골라 기호로 쓰라.

〈보기〉

ㄱ. 수소 원자의 선스펙트럼을 설명할 수 있다.
ㄴ. 음극선 실험을 통하여 제안된 모형이다.
ㄷ. α 입자 산란 실험으로 핵의 존재와 크기를 밝혔다.

① (가)−(　　)　　② (나)−(　　)　　③ (다)−(　　)

단원 마무리

창의력 평가

1 (−)전하로 대전된 막대와 세 개의 풍선(대전되지 않은 풍선 1개, 대전된 풍선 2개)이 있다. 어느 풍선이 대전되지 않은 풍선인지, 또 나머지 두 풍선은 어떤 전하로 대전되어 있는지 그리고 둘 중 어느 풍선이 더 많은 양의 정전기를 가지고 있는지를 알아보는 방법을 말해 보라. 그리고 실제로 판별해 보자.

2 이제 105쪽 단원 첫머리의 생각 열기에 제시된 사진을 다시 살펴보자. 머리카락이 어떤 힘에 의해 위로 솟구쳐 있는 모습을 찍은 것이다. 바람이 불지 않았는데도 일어난 이 현상은 어떻게 해서 발생하게 된 것인지 설명해 보자.

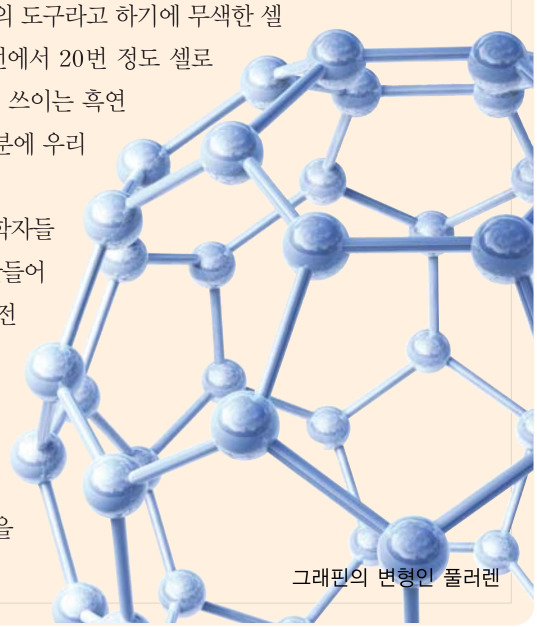
3 크기 및 모양은 같으나 서로 다른 금속으로 이루어진 고리들이 같은 자기장 내에서 움직이는 경우를 생각해 보자. 기전력의 크기, 기전력의 방향, 전류의 크기 또는 전류의 방향 중 어느 것이 다르겠는가? 왜 그렇게 생각하는가?

과학 글쓰기

❖ 다음 글은 2010년도에 신물질 그래핀 발견과 노벨 물리학상에 관한 글이다.

영국 맨체스터 대학에 재직 중인 안드레 가임과 콘스탄틴 노보셀로프 교수가 2010년 노벨 물리학상 수상자로 결정됐다. 스웨덴 왕립과학원 노벨상위원회는 가임과 노보셀로프 교수가 초박형 탄소 물질인 그래핀(graphene)에 대한 업적으로 물리학상 수상자로 결정됐다고 10월 5일 밝혔다. 두 사람은 2004년 흑연에서 셀로판테이프로 2차원 탄소 원자 층인 '그래핀'을 처음 분리해냈다. 또 6각형 구조로 결합한 탄소 원자들로 구성된 그래핀이 어떻게 작용하는지를 보여주었다. 그래핀은 두께가 고작 원자 한 층밖에 안 되는, 세상에서 가장 얇은 소재이다. 또한, 탄소공이라고 불리는 풀러렌(fullerene)(1985년)과 탄소 나노 튜브(1991년)에 이어 등장한 탄소 나노 소재이다. 탄소의 특성은 원자끼리 결합해 육각형 평면 구조가 되면 그래핀이 되고, 그래핀이 관 형태로 말리면 탄소 나노 튜브, 축구공 모양이 되면 풀러렌이 된다. 또 그래핀이 겹으로 쌓이면 흑연이 되며, 흑연이 초고압 상태에 놓이면 다이아몬드가 된다. 그래핀은 가볍고 투명하며 강하고, 구리보다 100배 이상 전기가 잘 통할 정도로 물리적, 전기적 특성이 우수한 것으로 알려졌다. 두 과학자 중 노보셀로프 박사는 올해 36세로 지난 1973년 이후 수상자 가운데 최연소 기록도 세우게 됐다. 한편, 가임은 반자성 부상을 시연한 '공중 부상 개구리' 실험으로 지난 2000년 '괴짜 노벨상'으로 불리는 이그노벨상을 수상해 노벨상과 이그노벨상을 모두 수상한 첫 사례가 되기도 했다. 그래핀 연구에서도 가임 교수는 노보셀로프 박사와 함께 기발하고도 엉뚱한 아이디어를 발휘했었다. 여기에는 신소재 개발의 도구라고 하기에 무색한 셀로판테이프가 동원되었다. 흑연에 붙였다 뗀 셀로판테이프를 10번에서 20번 정도 셀로판테이프로 붙였다 뗐다를 반복해서 얻어낸 것이었다. 연필심으로 쓰이는 흑연은 그래핀이 여러 장 쌓여 있는 구조이다. 이런 탄소 층상 구조 덕분에 우리가 조금만 힘을 주어도 글씨가 잘 써질 정도로 잘 떨어져 나간다.

하지만, 고작 하나의 탄소 층, 즉 그래핀을 얻는 일은 그동안 과학자들에게 쉬운 일이 아니었다. 최첨단 나노 기술을 활용해 그래핀을 만들어 보려는 노력이 있었지만 이번 노벨상 수상의 두 주인공이 나서기 전까지는 거의 불가능한 일처럼 여겨지기도 했다. 그런데 어느 날 갑자기 이 두 학자가 너무나도 간단한 방법으로 이 일을 해낸 것이었다. 그 두 사람은 흔히 구할 수 있는 흑연에 셀로판테이프를 붙여 일단 여러 층의 그래핀을 떼어냈다. 그런 다음 이 셀로판테이프에 새로운 셀로판테이프를 붙였다 떼어 내면서 좀더 얇은 그래핀 층들을 얻어낸 것이다.



그래핀의 변형인 풀러렌

1 그래핀 물질이 어떤 물질인지에 대해 좀 더 조사해 보자.

2 창의적인 아이디어가 어떻게 발휘될 수 있는지에 대해 토론해 보자.

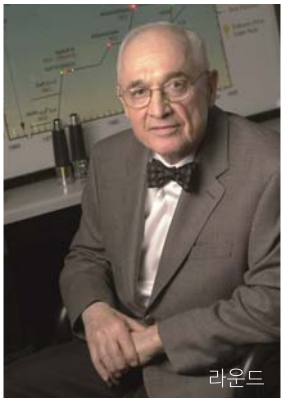
3 이 글을 읽고 느낀 점을 과학의 발달과 관련지어 글로 써 보자.



발광 다이오드(LED)

처음으로 발광 다이오드 현상을 관찰한 사람은 영국의 라운드(Round)이다. 그는 1907년 탄화규소(SiC)에 금속 침이 접촉하여 불빛이 발생하는 것을 관찰하였다.

이 방법은 비록 100여 년 전의 실험 방법이었지만, 리퍼트(Michael T. Lippert)는 그의 홈페이지에서 라운드의 방법을 이용하여 SiC(탄화규소) 결정으로 발광 다이오드를 재현해 보기도 하였다.



라운드

라운드가 발광 다이오드 현상을 관찰한 후에 1920년대 중반, 소련의 연구자 로세프(Oleg Vladimirovich Losev)는 ZnO와 SiC로 구성된 정류 다이오드에서 마찬가지로 불빛이 발생하는 것을 관찰하여, 1927년에 발표하였다. 즉 교류를 직류로 정류하기 위한 다이오드였는데, 전압을 높여주었을 때 정류 다이오드에서 빛이 나는 것을 관찰한 것이다.

그리고 1962년 미국의 3개 연구 그룹이 거의 동시에 발광 다이오드에 대한 논문을 발표하였다. 제너럴 일렉트릭사의 홀(Robert Hall)과 홀료냑(Nick Holonyak), IBM 회사의 네이던(Marshall Nathan)과 MIT 대학의 레디커(Robert Rediker)가 그들이다. 그리고 10년 뒤인 1972년 크래포드(George Crawford)가 노란색 발광 다이오드를 처음으로 개발하였다.



처음에 발광 다이오드가 만들어졌을 당시인 1968년에는 발광 다이오드 하나에 약 200달러나 했다고 한다. 그러나 지금은 몇 백 원이면 살 수 있을 정도로 저렴해지고 효율도 좋아졌다.

현재 발광 다이오드는 효율이 매우 높아지면서 낮은 전력으로 밝은 빛을 밝힐 뿐 아니라 수명이 긴 조명 기구로 새롭게 태어나고 있다. 예를 들면, 우리나라에서 개발된 발광 다이오드 중에는 할로겐 램프를 대용할 수 있는 제품이 생산되고 있는데, 20~30 W 전력을 소모하는 할로겐 전구와 밝기가 거의 비슷한 발광 다이오드 램프가 5.5 W에 불과하다. 또 11 W 전력을 소모하는 발광 다이오드 램프는 그 밝기가 150 W 전력을 소

모하는 백열 전구와 거의 비슷하다.

모양도 다양하여 띠 모양으로 생겨 다양한 조명을 연출할 수 있고, 1 m 길이에 소모 전력이 약 8 W 정도에 불과한 것도 있다.

단순한 조명을 넘어서서 발광 다이오드는 이제 여러 산업과 연계되어 활용되고 있고, 국가적으로도 중요한 산업 분야로 인정받고 있다. 다음은 2009년도 전자신문에 나온 발광 다이오드 산업 활성화에 대한 기사의 일부이다.



전자신문

2009.01.29

발광 다이오드(LED) 산업이 친환경을 넘어 IT 융합과 지역 연계 산업의 핵으로 떠올랐다.

LED를 단순히 반도체 광원 기술을 활용해 오래 쓰는 조명 기술로만 인식해 온 산업 저변에 융합의 빛이 켜졌다.

정부와 지자체 · 학계는 4개 거점 역할을 맡는 광주 광기술원을 비롯해 광교 LED 융합 기술 지원 센터, 경산 LED 융합 산업화 연구 센터(영남대), 전북 LED 융합 기술 지원 센터(전북대)에 올해 총 196억 원의 예산을 투입할 계획이다. 2013년까지 5년 간 총 765억 원의 통합 예산을 쏟아부어 원천 기술 개발과 인력 양성 등에 활용한다는 방침이다.



지식경제부 장관은 “LED는 IT · 의료 · 농수산 등 다양한 분야와 융합해 고부가 가치의 파생 산업을 창출할 수 있는 미래 성장 동력 산업”이라며 “융합 기술 지원 센터는 지역별 특화 산업의 강점을 국가 전체의 LED 산업 경쟁력 강화로 이어줄 가교 역할을 충실히 해낼 것”으로 기대했다. 융합 기술 지원 센터에 따르면 국내 딸기 · 잎들깨 · 국화 등의 농특산물 재배의 전조용 백열전구를 LED 조명으로 대체하면 연간 LED 업계의 추가 발생 매출 규모는 1740억 원에 달한다. 식물 공장 · 살균용 LED 조명 예상 매출도 약 2500억 원에 이를 것으로 추정됐다.

경기도와 광교 LED 융합 기술 지원 센터는 차세대 융합 기술 연구원 융합 과학 기술 대학원과 연계된 교육 과정을 통해 2013년까지 연간 360명 규모의 LED 전문 인력을 배출할 계획이다.



Ⅲ 정보와 통신



우리는 일상생활 속에서 수많은 정보를 접하고 있다. 친구와의 대화, 텔레비전 시청, 인터넷 등 여러 경로를 통해서 정보를 얻고 있다.

이 단원에서는 자연계에 존재하는 정보를 전달하고 처리하는 중요한 과정을 이해한다. 정보를 전달하는 음파(또는 소리)와 전자기파(빛)의 성질과 특징을 이해하고, 이것들이 실생활에 다양하게 활용되는 예를 알아본다. 최신의 정보 통신을 이해하는 기본이 되기 때문에 더 체계적인 이해와 풍부한 응용을 조사하고 경험하여 보자.

1 소리와 빛









가야금과 거문고 소리가 매력적인 소리를 내는 까닭은 무엇일까?

그 까닭은 현과 악기의 몸체에 해당하는 울림통이 똑같은 주파수 대역에서 반응하기 때문이다. 현악기가 사람이 듣기 좋은 맑은 소리를 내려면 현과 울림통이 같은 주파수에서 떨려야 하는데, 가야금과 거문고는 이 같은 특성을 정확히 갖추고 있다.

가야금과 거문고의 재료가 되는 오동나무의 세포 구조는 매우 성글다. 오동나무의 상피 세포를 현미경으로 관찰하면 세포의 벽이 얇고 유연한 것을 알 수 있다. 이에 비해 바이올린의 재료인 가문비나무는 규칙적이며 촘촘한 세포 구조로 되어 있다. 그래서 바이올린은 우리의 현악기에 비하여 음색이 날카롭다. 완전히 다른 성질의 밭에서 자라는 작물의 성질이 다르듯 전통 현악기와 외국 현악기의 차이가 발생한 것이다.

또 울림통 재료가 되는 나무 무늬의 형태도 소리에 큰 영향을 끼친다. 좋은 가야금과 거문고는 일반적으로 국수 무늬(일자 무늬) 목재를 사용한 울림통을 갖고 있다. 국수 무늬는 늙은 나무의 중심부를 긁어낸 목재가 아래로 쭉쭉 뻗은 무늬를 갖고 있다고 해 붙여진 이름이다. 중심부의 늙은 나무 층을 제거하면 연주된 음이 소멸하지 않고 대부분 반사되기 때문에 공명 현상이 극대화된다. 소리가 증폭되면서 듣기 좋고 풍부한 연주가 가능해진다는 것이다.

이처럼 우리의 전통 현악기는 정밀한 과학적 원리에 의하여 제작되었다. 울림통 구조, 재료가 되는 나무의 세포 형태, 국수 무늬, 옻칠 등이 어울려 '명금'을 만들어 온 것이다. 이 같은 전통 현악기는 대개 1500년 전부터 모습을 드러냈다. 주파수를 정확히 계산해야 한다는 점 때문에 전통 악기는 당시의 높은 과학 수준을 가늠하는 척도가 된다.

– 과학향기 제521호 기사에서 –

생각 열기

전통 가야금은 줄이 12개인 12현이다. 가야금은 줄의 길이와 굵기가 어떻게 다르고, 그에 따라 소리의 높낮이가 어떻게 달라질까?





1 소리의 특징과 속력

학습 목표

1. 종파로서의 소리의 기본적인 특징을 설명할 수 있다.
2. 여러 가지 매질에서 소리의 속력이 어떻게 달라지는지 설명할 수 있다.

물속에서도 악기를 연주하면 소리를 들을 수 있다고 한다. 여기에서는 소리의 파동적 특징과 여러 물질에서 소리의 속력에 대해 알아보자.

1. 파동

진동이란 제자리에서 왕복 운동을 반복적으로 하는 것을 말하고, 그러한 진동이 퍼져 나가면 그것을 **파동**이라고 한다.

횡파
용수철이 위아래로 진동하면서 파동은 오른쪽으로 진행하다.

종파
용수철이 좌우로 진동하면서 파동은 오른쪽으로 진행한다.

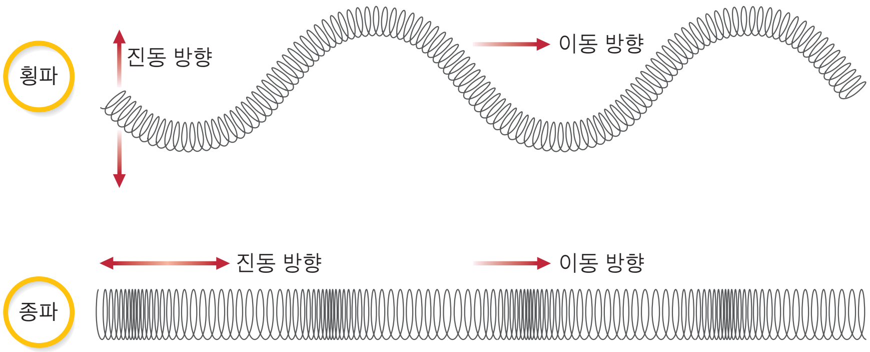


그림 Ⅲ-1 횡파와 종파

그림 Ⅲ-1은 용수철로 횡파와 종파를 만들었을 때, 용수철의 진동 방향과 파동의 이동 방향을 나타낸 것이다.

파동의 특징은 진폭, 파장과 진동수, 그리고 주기로 나타낼 수 있다. 일반적으로 파장은 마루에서 마루, 또는 골에서 골까지의 거리를 나타낸다. 그러나 그림 Ⅲ-2와 같이 같은 지점이 반복되는 거리로 표시해도 된다. 파장은 보통 λ로 표시하고, 단위로는 m를 사용한다.

진동수는 1초 동안의 진동하는 횟수를 나타내며, 보통 f로 표시하고, 단위로는 Hz를 사용한다. 예를 들어, 5 Hz란 1초 동안에 5번 진동한다는 것을 의미한다.

주기는 한 번 왕복하는 데 걸리는 시간을 나타내며, 보통 T로 표시하고, 단위로는 초를 사용한다. 예를 들어, 주기가 3초라면 한번 왕복하는 데 3초가 걸린다는 의미이다.

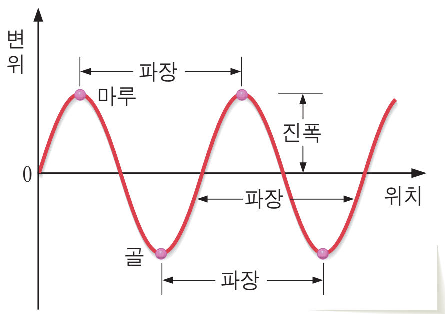


그림 Ⅲ-2 파동

이때 진동수와 주기는 $T=\frac{1}{f}$ 또는 $f=\frac{1}{T}$의 관계를 만족한다.

예제 1

큰 땅벌은 1초에 130번씩 날개를 움직이고, 어떤 모기는 1초에 600번씩 날개를 움직인다. 땅벌과 모기의 날갯짓의 진동수와 주기는 각각 얼마인가?

해설 | 큰 땅벌이 1초에 130번씩 날개를 움직인다면 진동수는 130 Hz가 된다. 그리고 주기 $T=\frac{1}{130}$초가 된다. 마찬가지로 모기의 날갯짓은 진동수가 600 Hz이고 주기는 $\frac{1}{600}$초가 된다.

답 • 땅벌: 진동수 130 Hz, 주기 $\frac{1}{130}$ 초

• 모기: 진동수 600 Hz, 주기 $\frac{1}{600}$ 초

2. 기체에서 소리 파동의 전달

그림 Ⅲ-3의 (가)와 같이 스피커에서 소리가 날 때 손으로 스피커를 만져 보면 스피커가 진동하는 것을 느낄 수 있다. 또 그림 (나)와 같이 북을 치는 공연장에서도 북 위에 물을 뿌리고 북을 두드리면 북의 진동 때문에 물이 튀어 오르는 것을 볼 수 있다.

소리는 이러한 진동이 공기 입자를 진동하게 하고 공기 입자의 진동이 멀리 퍼져 나가는 파동이다. 이때 공기 입자는 한 곳에서 진동만 할 뿐 직접 이동하는 것은 아니고, 파동만이 퍼져 나간다. 그리고 공기 입자의 진동 방향은 소리 파동의 진행 방향과 같으므로 종파이다.

소리 파동은 공기 입자의 진동에 의한 것이지만, 공기 입자의 진동을 직접 눈으로 관찰하기는 힘들다. 따라서 다음 탐구를 통해 공기 입자의 진동을 관찰해 보고, 공기 입자의 진동을 효과적으로 체험해 보는 활동을 해보자.



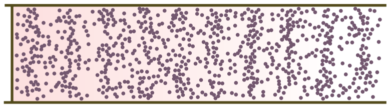
(가) 스피커



(나) 난타 공연

그림 Ⅲ-3 소리 파동의 예

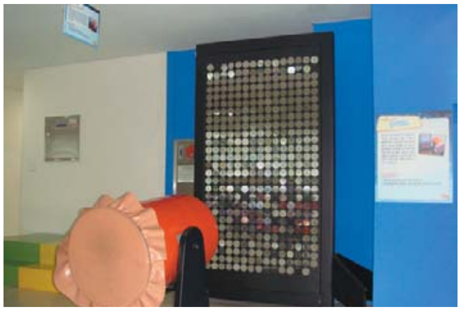
탐구 1 시범 관찰 소리 파동



준비물 플라스틱 물통, 고무판, 고무줄, 두꺼운 상자

과 정

1. 다음 사이트에서 공기의 진동 시뮬레이션을 관찰하자.
   http://paws.kettering.edu/~drussell/Demos/waves/wavemotion.html
   ⇨ 입자들이 진행하는가? 진동 하는가?
2. 그림 (가)와 같이 플라스틱 물통의 뚜껑 대신에 두껍고 넓은 고무판으로 싸고 바닥에는 직경 10 cm 정도의 구멍을 뚫고 고무판을 늘렸다가 놓아 보자.
   ⇨ 뚫린 구멍으로부터 약 5 m 앞에 서 있을 때 공기의 펄스파를 느낄 수 있는가?
3. 그림 (나)와 같이 두꺼운 종이 상자를 테이프로 잘 막은 다음 앞에 구멍을 뚫고, 종이 상자를 갑자기 쳐서 눌러도 공기 파동을 만들 수 있다.



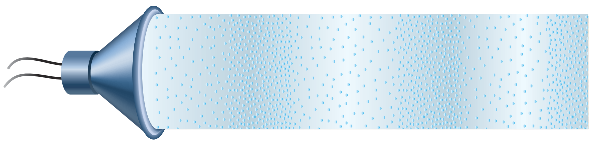
(가)



(나)

소리가 발생하여 공기가 좌우로 진동할 때 공기가 좌우에서 모이면 밀한(조밀한) 부분이 생기고, 공기가 좌우로 멀어지면 소한(성긴) 부분이 생긴다. 이때 밀한 부분에서 다음 밀한 부분 또는 소한 부분에서 다음 소한 부분까지의 거리가 소리의 **파장**에 해당한다.

물음 1. 다음 그림은 스피커의 진동에 의해 발생한 소리를 나타낸 것이다.



(1) 그림에서 밀한 부분과 소한 부분은 어디인가?
(2) 그림에서 소리의 파장을 표시해 보자.

소리의 속력 v는 파장 λ를 주기 T로 나누면 구할 수 있다. 즉

$$v=\frac{\lambda}{T}$$

이다. 그 까닭은 속력은 일반적으로 $\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}$로 정의하는데, 소리의 경우에는 파동이 이동한 거리가 파장에 해당하고 한 파장을 이동하는 데 걸린 시간이 주기(T)에 해당하기 때문이다.

$$v=\frac{\lambda}{T}=\frac{1}{T}\lambda=f\lambda$$

피아노에서 중간 '라'의 진동수는 440 Hz인데, 상온의 공기에서 소리의 속력이 340 m/s이므로 '라' 소리의 파장은 $\frac{\text{속력}}{\text{진동수}}$에서

$$\lambda=\frac{v}{f}=\frac{340\ \mathrm{m/s}}{440\ \mathrm{s^{-1}}}=0.77\ \mathrm{m}=77\ \mathrm{cm}$$

가 된다.

빛의 속력

빛이 속력은 공기 중에서 약 30만 km/s 이다.

연구 1. 만일 속력$=\frac{\text{걸린 시간}}{\text{이동 거리}}$으로 정의한다면 어떤 의미가 있을까? 달리기의 경우를 생각해 보자.

물음 2. 번개가 번쩍하고 친 다음에 약 3초 후에 천둥소리가 들렸다. 번개가 친 곳은 약 몇 m 떨어진 곳일까?



3. 기체와 액체, 고체에서의 소리의 속력

만일 공기의 온도가 올라가면 공기 입자의 운동 속력도 빨라진다. 따라서 공기 입자의 진동도 빨라지므로 소리의 속력도 빨라지게 된다. 마치 도미노 하나하나가 빨리 넘어지면 전체적으로 무너지는 속력이 빨라지는 것과 같다. 공기 중에서 온도에 따른 소리의 속력은 다음과 같다.

$$v(\mathrm{m/s})=331.45+0.6\,t\ (t\text{는 섭씨 온도})$$

물음 3. 다음 각 경우에 공기 중에서 소리의 속력을 구해 보자.

온도	소리 속력	온도	소리 속력
−20 ℃		20 ℃	

만일 같은 압력과 같은 온도에서 서로 다른 기체가 있을 때 각 기체에서의 소리의 속력은 어떻게 다를까? 예를 들어 압력과 온도가 같을 때 공기와 공기보다 훨씬 가벼운 헬륨에서의 소리의 속력은 어떻게 다를까?

같은 온도와 압력에서 기체 분자의 운동은 질량이 작을수록 더 활발하다. 기체 분자의 운동이 활발해지면 기체 분자의 진동도 빨라지므로 기체에서의 소리 속력도 빨라지게 된다. 따라서 헬륨에서의 소리의 속력은 일반 공기에서 보다 더 빠르다.

표 Ⅲ-1 여러 가지 물질에서 소리의 속력(m/s)

물질	온도(℃)	속력(m/s)
헬륨 기체	0	970
수소 기체	0	1270
순수한 물	25	1493
구리	20	3560

연구 2. 헬륨 기체를 마시고 말을 하면 목소리가 높아져서 우스꽝스럽게 들린다. 왜 그런지 생각하여 보자.

소리는 기체의 진동뿐 아니라 액체나 고체의 진동에 의해서도 전달될 수 있다. 예를 들어 물속에서는 물의 진동에 의해, 기찻길에서는 레일의 진동에 의해 소리가 전달될 수 있다. 이때 물질의 종류에 따라 소리의 속력이 달라진다. 소리의 속력은 공기 중과 비교하면 물속에서는 약 4배, 쇠에서는 약 15배나 빠르게 전달된다.

그러면 물질의 종류에 따라 소리의 속력이 달라지는 까닭은 무엇일까? 다음 탐구를 통해 알아보자.

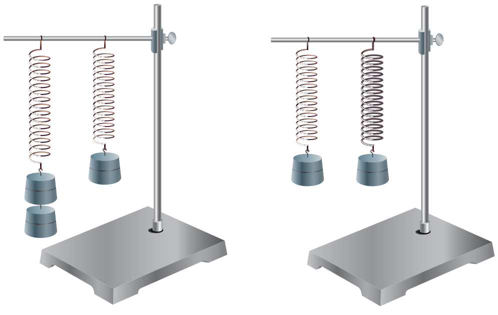
탐구 2 시범 관찰 용수철 진자

준비물 용수철 상수가 같은 용수철 2개, 용수철 상수가 다른 용수철 1개, 추(50g) 3개, 스탠드

과 정

1. 그림 (가)와 같이 길이와 용수철 상수가 같은 두 개의 용수철에 질량이 50 g인 추를 1개와 2개를 각각 매달아 아래위로 진동시켜 보자.
   ⇨ 두 용수철의 주기는 어떻게 다른가?

2. 그림 (나)와 같이 질량이 50 g인 추를 용수철 상수가 서로 다른 두 용수철에 각각 매달아 아래위로 진동시켜 보자.
   ⇨ 두 용수철의 주기는 어떻게 다른가?



복원력

물체가 변형되었을 때, 그 물체를 원래 상태로 되돌리려고 하는 힘으로, 용수철에서의 복원력 F는 용수철 상수 k와 용수철의 변형된 길이 Δx에 비례한다.

$$F=-k\Delta x$$

여기에서 (−)는 용수철의 변형된 길이 방향의 반대 방향으로 복원력이 작용한다는 것을 의미한다.

용수철의 진동 주기

용수철 상수 k인 용수철에 질량 m인 물체를 매달아 진동시키면 진동 주기 T는 다음과 같다.

$$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

소리의 속력이 매질의 종류에 따라서 달라지는 까닭은 스프링이 진동하는 경우를 이용하여 알 수 있다.

탐구 2의 (가)와 같이 용수철 상수가 같을 때 물체의 질량이 클수록 주기가 긴 것을 알 수 있다. 즉, 매질의 질량이 크면 진동이 천천히 일어나고 파동의 속력이 느려지는 것을 알 수 있다.

탐구 2의 (나)에 의하면 물체의 질량이 같을 때 용수철 상수가 클수록 주기가 짧은 것을 알 수 있다. 그 까닭은 용수철 상수가 크면 복원력도 커지므로 빨리 제자리로 돌아가려고 하기 때문이다.

이때 스프링의 경우에 압축되지 않으려는 정도가 클수록 진동이 빠르다고 하였다. 마찬가지로 공기와 물에 대해서도 압축되지 않으려는 정도를 생각해 볼 수 있다. 즉 물이 공기보다 훨씬 압축되지 않으려는 정도가 크다는 것을 알 수 있다. 그러면 물 입자가 공기 입자보다 진동이 빨리 일어나 물에서의 소리 속력이 공기보다 빠르게 된다.

2 소리의 반사와 굴절 및 회절



학습 목표

1. 소리의 반사와 굴절, 그리고 회절 현상을 설명할 수 있다.
2. 초음파의 특징과 이용을 설명할 수 있다.
3. 귀에서 소리를 듣는 과정을 설명할 수 있다.
4. 소리 정보를 인식하고 활용하는 예를 설명할 수 있다.

음악회가 열리는 강당이나 연주회장은 소리가 청중들에게 잘 들릴 수 있도록 소리의 여러 가지 특징을 고려하여 설계되어 있다. 소리의 특징으로는 반사, 굴절, 회절 현상이 있다. 이러한 소리의 현상은 어떻게 일어나는지 알아보자.

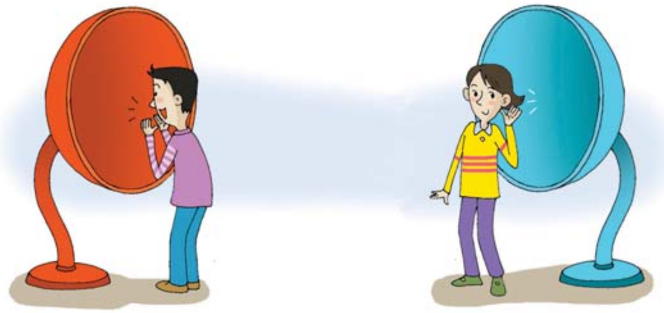
1. 소리의 반사

자연에서 들을 수 있는 소리의 반사 현상으로는 메아리가 있다. 공원이나 과학관에서는 소리의 반사를 이용해서 멀리까지 소리가 전달되도록 하는 간단한 장치가 있다.

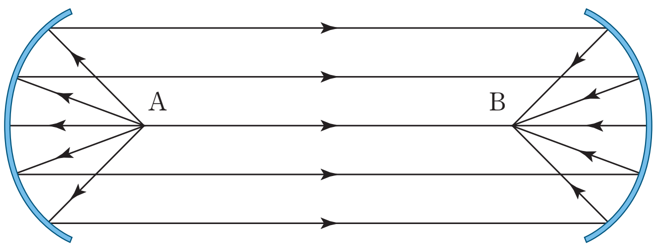
그림 Ⅲ-4의 (가)와 같이 접시 모양의 반사판 앞에서 작은 소리로 말을 하면 멀리 떨어진 다른 접시 모양의 반사판에서도 그 소리를 들을 수 있다.

멀리 떨어진 곳에서 작은 소리를 들을 수 있는 까닭은 그림 (나)와 같이 A점에서 말을 하면 접시 모양의 반사판에서 소리가 반사하고, 반사된 소리가 진행하여 반대편 반사판에 도달하고, 그 반사판에서 반사된 소리가 B점에 모이기 때문이다. 보통 우산 크기 정도의 반사판이면 10 m 정도 떨어져 있어도 작은 목소리를 들을 수 있다.

소리의 반사는 모든 매질에서 똑같이 일어나는 것은 아니다. 예를 들어 세종문화회관 체임버홀의 측면 벽은 소리가 잘 반사되도록 유리 섬유를 보강한 콘크리트를 사용하지만, 아파트 층간의 소음을 줄이려면 폴리에스터 섬유나 폴리우레탄 등으로 만든 흡음재를 사용하기도 한다. 실제로 그림 Ⅲ-5의 (가)와 같이 오른쪽 파이프에서 말을 하면, 접시에서 소리가 반사되어 왼쪽 파이프에서 소리를 들을 수 있지만, 그림

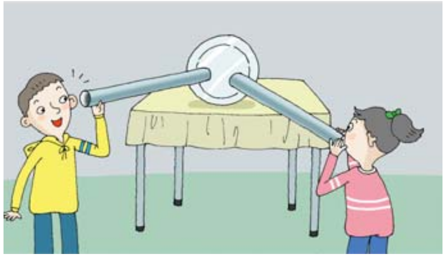


(가) 접시 모양의 반사판

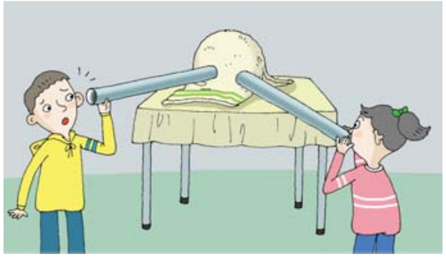


(나) 소리의 반사

그림 Ⅲ-4 소리의 반사



(가) 잘 들리는 경우



(나) 잘 들리지 않는 경우

그림 Ⅲ-5 소리의 반사

(나)와 같이 접시를 수건으로 감싸면 접시에서 소리가 적게 반사되어 왼쪽 파이프에서 소리가 잘 들리지 않게 된다. 즉, 소리는 물질의 종류에 따라 잘 반사할 수도 있지만 흡수될 수도 있다. 예를 들면, 딱딱한 판에서는 소리가 잘 반사하지만, 담요나 카펫과 같은 물질에는 소리가 흡수된다.

그림 Ⅲ-6과 같이 소리가 많이 흡수되도록 한 방을 무향실이라고 한다. 이 방에서는 방안에서 발생한 소리가 벽에서 거의 완벽하게 흡수되도록 하였다. 즉, 소재를 담요와 같이 잘 흡수되는 물질을 이용한 것이다. 이러한 방은 주로 음향 실험을 하는 방으로 사용한다.

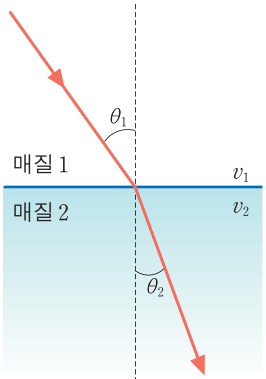


그림 Ⅲ-6 무향실

굴절

파동이 진행을 하다가 다른 매질을 통과할 때 매질의 경계면에서 파동의 진행 방향이 꺾이는 현상

스넬 법칙



빛이나 소리와 같은 파동이 굴절할 때에는 입사각과 굴절각 사이에 다음과 같은 법칙이 항상 적용된다.

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{v_1}{v_2}$$

θ_1=입사각, θ_2=굴절각, v_1=매질 1에서 파동의 속력, v_2=매질 2에서 파동의 속력

위와 같은 법칙을 스넬 법칙이라고 한다.

2. 소리의 굴절

파동이 다른 매질을 만나면 속력이 변하면서 굴절하게 된다. 그 까닭은 그림 Ⅲ-7과 같이 자동차가 아스팔트에서 진흙으로 들어가면서 진행 방향이 꺾이는 것과 같다. 즉, 자동차가 진행하다가 오른쪽 바퀴가 진흙에 먼저 들어가면서 느려지므로 자동차가 오른쪽으로 꺾이게 된다.

마찬가지로 빛과 같은 파동도 그림 Ⅲ-8과 같이 공기에서 물로 진행하면 물에서 속력이 느려지므로 진행 방향이 꺾인다.

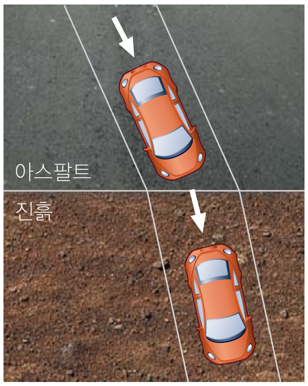


그림 Ⅲ-7 아스팔트와 진흙에서 자동차의 진행

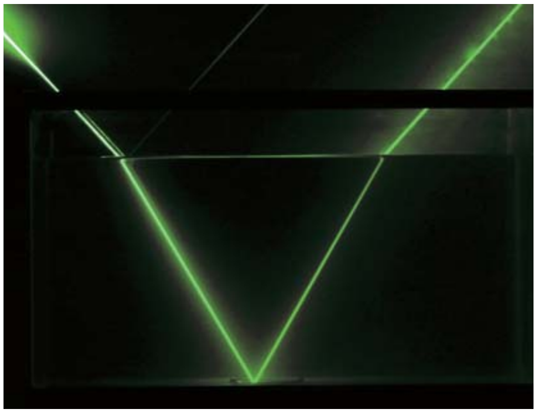


그림 Ⅲ-8 빛의 굴절

파동이 굴절할 때에는 반드시 꺾이는 경우만 있는 것은 아니다. 만일 매질의 성질이 조금씩 변화하여 파동의 속력도 조금씩 변한다면 조금씩 꺾여 마치 휘는 것처럼 보이기도 한다.

다음 탐구를 통해 빛의 경우에 휘는 현상을 먼저 관찰해 보고, 그 다음에 소리가 휘는 현상을 알아보자.

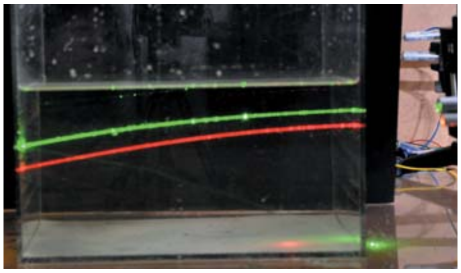
탐구 3 시범 관찰 휘는 빛

준비물 수조, 레이저 포인터, 진한 설탕물, 물

과 정

1. 오른쪽 그림과 같이 수조 아래에는 진한 설탕물을 넣고, 설탕물 위에 물을 가만히 부으면, 설탕물과 물이 쉽게 섞이지 않는다. 이때 사진과 같이 휘는 레이저 빛을 관찰할 수 있다.

   유의 레이저 포인터를 눈에 비추지 않도록 한다.



2. 다음과 같은 설탕물의 성질을 이용하여 레이저 빛이 휘는 까닭을 설명해 보자.

> (가) 수조의 맨 아래: 진한 설탕물 → 빛의 속력이 느려짐
> (나) 수조의 중간: 덜 진한 설탕물 → 빛의 속력이 조금 느려짐
> (다) 수조의 맨 위: 빛의 속력이 빠름

소리도 파동이므로 소리가 진행하다가 다른 매질을 만나 소리의 속력이 변한다면 굴절하게 되고, 굴절이 조금씩 일어나면 휘어 보인다.

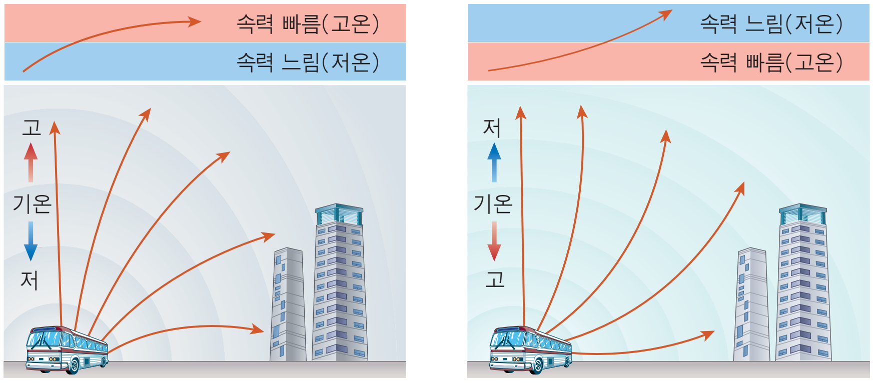


그림 Ⅲ-9 소리의 굴절

낮과 밤의 소리의 굴절
- 밤: 지면 근처 – 낮은 온도 – 소리 속력 느려짐 – 소리가 아래로 휨
- 낮: 윗부분 – 낮은 온도 – 소리 속력 느려짐 – 소리가 위로 휨

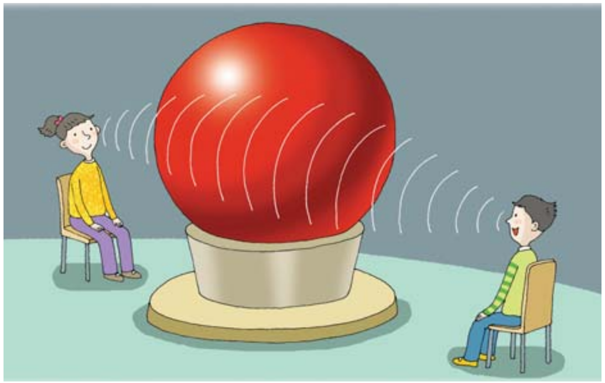
그림 Ⅲ-9의 (가)는 아랫부분에 찬 공기가 있고, 윗부분에 더운 공기가 있을 때 소리가 휘는 것을 나타낸 것이다. 실제로 밤이 되면 지표면 근처의 공기 온도가 윗부분보다 더 낮아질 수 있다. 그러면 찬 공기가 있는 아랫부분에서 소리의 속력이 느려지므로 소리가 아래로 휘게 된다. 그림 (나)는 낮에 지표면 근처의 공기 온도가 더 높을 때 소리가 휘는 것을 나타낸 것이다. 이 경우에는 윗부분에서 소리의 속력이 느려지게 되므로 밤의 경우와 반대로 소리가 위로 휘게 된다.

빛의 경우에 굴절 현상을 이용하면 렌즈로 빛을 모을 수 있다. 마찬가지로 소리도 모으는 방법이 있을까?

그림 Ⅲ-10의 (가)와 같이 과학관에 가면 커다란 풍선 안에 공기에서 보다 소리의 속력이 느린 기체를 넣은 장치가 있다. 이 장치를 사이에 두고 두 사람이 반대편에 각각 앉아서 말을 해 보면, 맞은편 사람의 말소리가 잘 들리는 것을 경험할 수 있다. 이것은 그림 (나)와 같이 한쪽에서 사람이 말한 소리가 풍선에 의해 볼록 렌즈처럼 모여서 맞은편 사람에게 잘 전달되도록 한 것이다.



(가)



(나)

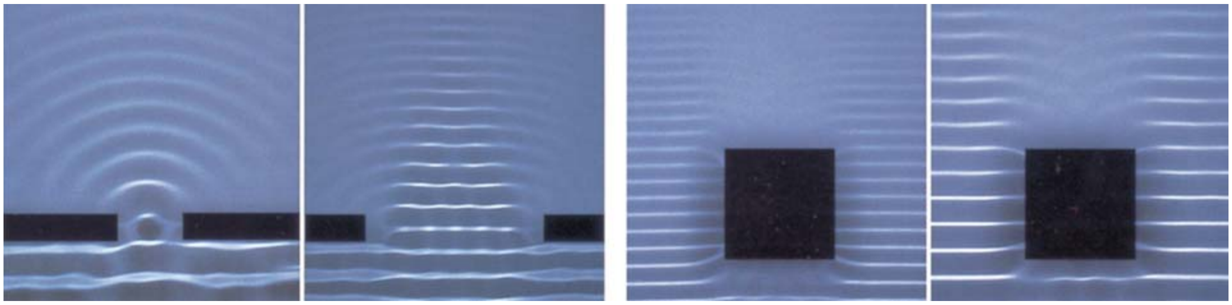
그림 Ⅲ-10 소리의 굴절

3. 소리의 회절

돌멩이를 던졌을 때, 만일 벽이 있다면 날아가던 돌멩이는 벽에 부딪혀 떨어지고 벽 뒤로 날아갈 수 없을 것이다. 그러나 그림 Ⅲ-11과 같이 소리 파동은 담이 파동을 가로막아도 담을 넘어서 전달될 수 있다. 이처럼 파동이 방해물을 만났을 때, 방해물 뒤까지 퍼져 나가는 현상을 파동의 회절이라고 한다. 그림 Ⅲ-12를 보면 파동이 회절할 때 중요한 특징 두 가지를 알 수 있다. 첫째 슬릿 간격이 좁을수록 회절이 잘 일어난다. 둘째 파장이 길수록 회절이 잘 일어난다. 따라서 낮은 소리(파장이 긴 소리)가 좁은 틈을 지날 때 회절이 잘 일어난다고 예상해 볼 수 있다.



그림 Ⅲ-11 소리의 회절



(가) 슬릿이 다를 때 물결파의 회절　　　　(나) 파장이 다를 때 물결파의 회절

그림 Ⅲ-12 파동의 회절

4. 초음파를 이용한 우리 몸의 진단

초음파는 일상적인 소리보다 진동수가 매우 높다. 즉, 20 kHz 이상의 진동수를 가진 소리로서 우리가 들을 수 없는 소리이다.

20 kHz 이상의 초음파를 발생시키기 위해서는 스피커와 같이 소리 신호에 따라 진동하는 장치가 필요하다. 이를 위해 그림 Ⅲ-13과 같이 전기를 통하면 수축하거나 팽창하는 압전 물질을 이용한다. 따라서 이러한 압전 물질에 20 kHz 이상의 교류 신호를 흐르게 하면, 압전 물질이 20 kHz 이상으로 진동하면서 초음파가 발생하게 된다. 그림 Ⅲ-14는 실험에서 사용되는 초음파 발생 장치이다.

물론 가청 주파수에 해당하는 20 Hz~20 kHz 사이의 교류 신호를 넣으면 압전 물질에서 우리가 들을 수 있는 소리도 발생하게 된다. 따라서 그림 Ⅲ-15는 크리스마스카드 등에 사용되는 납작한 스피커로 압전 물질을 이용한 것이다.

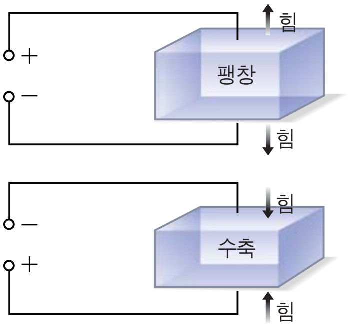


그림 Ⅲ-13 압전 물질



그림 Ⅲ-14 초음파 발생 장치

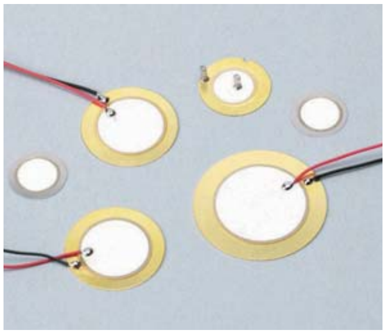


그림 Ⅲ-15 압전 스피커

초음파는 우리 몸의 장기들을 안전하게 검사할 수 있어, 태아를 살펴보거나 몸속의 질병을 검사하는 데에 사용된다. 또 우리 몸의 신장이나 요로 속에 작은 돌(결석)을 수술하지 않고 초음파를 쏘아 깨는 장치도 있다.

초음파가 인체 내부의 장기를 지나면서 다른 장기를 만나면 경계면에서 일부는 반사하고 일부는 투과하면서 굴절하게 된다. 이때 반사된 초음파를 검출하여 영상으로



그림 Ⅲ-16 태아의 초음파 사진

재구성하면 그림 Ⅲ-16과 같이 된다.

초음파는 장기를 지나면서 부분적으로 흡수되고 퍼지면서 그 세기가 약해진다. 예를 들어, 2 MHz의 초음파를 이용하면 간이나 뇌에서는 2 cm 투과할 때마다 약 50 %씩 세기가 약해진다. 따라서 초음파가 장기에 흡수되면서 세기가 약해지는 정도를 이용하면 장기의 두께를 알 수도 있다.

초음파가 장기를 지나면서 세기가 약해지는 정도는 진동수가 클수록 커진다. 따라서 인체 깊은 곳의 장기를 검사할 때에는 1∼5 MHz의 비교적 낮은 진동수의 초음파를 사용하게 된다. 그러나 진동수가 낮으면 그만큼 파장이 길어지게 되고, 파장이 길면 화상이 덜 분명해진다는 단점이 있다. 파장이 길면 화상이 흐려지는 까닭은 회절이 잘 일어나서 신호가 퍼지기 때문이다.

따라서 피부에 가까운 부분이나 눈과 같은 부분을 조사할 때에는 세기가 별로 약해지지 않으므로 5∼10 MHz의 비교적 높은 진동수를 사용하면 보다 명확한 화상을 얻을 수 있다.

? 물음 4. 초음파에 대한 다음 물음에 답하시오.

(1) 진동수가 2 MHz인 초음파의 주기는 몇 초인가?
(2) 파장이 길면 물체에 대한 화상이 덜 분명해지는 까닭을 설명해 보자.
(3) 눈을 조사할 때보다 신장을 조사할 때 낮은 진동수의 초음파를 이용하는 까닭을 무엇인가?
(4) 진동수가 2 MHz인 초음파가 간 속으로 4 cm를 들어가면 초음파의 세기는 간 표면에 비해 얼마나 약해지는가?

예제 2

몸속에서 진동수가 3 MHz인 초음파의 파장이 0.52 mm이었다. 이 초음파의 속력은 얼마인가? 또 공기에서의 소리의 속력과 비교해 보자.

해설 | 초음파의 속력은 $v=f\lambda$이다. 따라서
$f\lambda=3\times10^{6}\ \text{Hz}\times0.52\times10^{-3}\ \text{m}=1560\ \text{m/s}$
이다. 공기에서 소리의 속력은 상온에서 약 340 m/s이다. 따라서 몸속에서 소리의 속력은 약 4.6배 더 빨라진다.

답 1560 m/s

5. 귀에서 소리 듣기

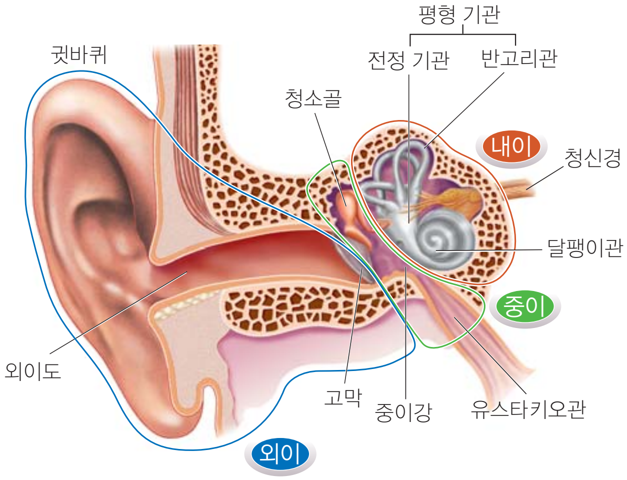


그림 Ⅲ-17 귀의 구조

우리 귀는 공기의 밀한 부분과 소한 부분의 압력 차이에 의해 고막이 떨리면서 소리를 들을 수 있게 되어 있다. 이때 아주 큰 소리는 밀한 부분과 소한 부분의 공기의 압력 차이가 2.8×10^{-4} 기압이지만 아주 작은 소리의 경우에는 압력의 차이가 2.8×10^{-9} 기압 정도로 매우 작다. 이처럼 사람의 귀는 아주 작은 압력의 차이를 감지할 수 있는 아주 우수한 센서라고 할 수 있다. 더구나 작은 소리에서 큰 소리까지 압력의 변화 폭이 10^5배나 되므로 감지 영역이 매우 넓은 센서라고 할 수 있다.

사람이 소리를 들을 때 그림 Ⅲ-17과 같은 고막의 진동 폭도 매우 좁다. 사람이 들을 수 있는 가장 큰 소리도 고막의 진동 폭은 1.1×10^{-5} m에 불과하고, 가장 작은 소리도 고막의 진동 폭은 1.1×10^{-11} m 밖에 되지 않는다. 이 정도라면 보통 원자 크기보다도 약 $\frac{1}{10}$배 작은 폭이다. 즉, 이렇게 작은 폭으로 진동하기만 해도 우리가 소리를 감지할 수 있다.

사람은 보통 20 Hz에서 20 kHz까지의 진동수에 해당하는 소리를 들을 수 있지만, 모든 사람이 같은 것은 아니다. 왜냐하면, 소음에 오래 노출되거나 나이를 먹으면서 낮은 소리와 높은 소리를 점점 들을 수 없게 되기 때문이다.

다음 탐구를 통해 자신이 들을 수 있는 소리의 진동수 영역을 알아보자.

귀의 구조

- 외이 : 귓바퀴와 귓구멍
- 중이 : 고막(3층으로 된 두께 약 0.1 mm의 막)과 청소골, 유스타키오관
- 내이 : 뼈 속에 있는 기관으로 평형 기관(전정 기관과 반고리관), 달팽이관이 있으며, 각 기관 속은 림프액으로 채워져 있고 신경 섬유들이 들어 있다. 평형 기관은 위치와 회전을, 달팽이관은 소리를 감지한다.

탐구 4 시범 관찰 귀로 들을 수 있는 소리의 진동수 알아보기

준비물 함수 발생기, 고음용 스피커(트위터), 연결선

과 정

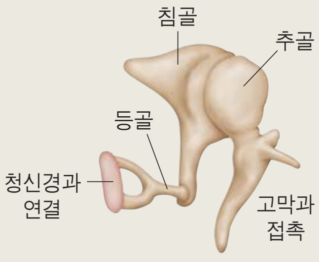


1. 함수 발생기 출력 단자에 스피커를 연결한다.
2. 진동수를 200 Hz로 맞춘 후 진동수를 천천히 올려본다. 만약 더 이상 소리가 들리지 않는 학생이 있으면 손을 들도록 한다.
   ⇨ 약 몇 Hz 이상부터 스피커에서 나오는 소리를 듣지 못하는가?
3. 이번에는 200 Hz부터 진동수를 천천히 낮추어 보면서, 소리가 들리지 않으면 손을 들도록 한다.
   ⇨ 약 몇 Hz 이하부터 스피커에서 나오는 소리를 듣지 못하는가?

한 걸음 더

고막의 진동 폭은 매우 작아서 우리 귀에서는 진동을 증폭시켜 주는 장치가 있다. 어떻게 소리가 증폭되는지 알아보기 위해 먼저 귀의 구조를 보자. 귀는 그림 Ⅲ-17과 같이 외이-중이-내이로 구분된다.

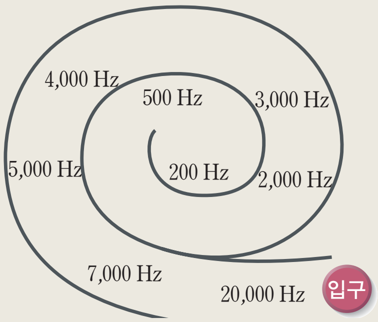
여기에서 고막의 진동을 증폭시켜 주는 곳이 중이에 있는 청소골이다. 오른쪽 그림 (가)와 같이 청소골은 추골, 침골, 등골로 되어 있다. 고막-추골-침골-등골-청신경으로 소리가 증폭되는 과정을 정리해 보면 다음과 같다.



(가) 청소골의 구조

① 고막의 면적은 넓고 침골에 연결된 추골의 면적은 좁아서 고막의 압력이 침골에 더 크게 작용하게 된다. 이것은 면적이 작은 송곳의 끝이 압력이 증가하는 원리와 같다.
② 침골과 등골은 지레 작용을 하여 압력을 증가시킨다.
③ 이러한 과정을 통해서 추골-침골-등골을 지나면서 소리의 압력은 약 22배 증가한다.

한편, 달팽이관에는 액체가 들어 있어 외부에서 소리가 전달되면 액체가 흔들리면서 달팽이관 안의 수천 개의 신경 세포를 흔든다. 그러면 신경을 통해 소리 신호가 대뇌로 전달되게 된다. 오른쪽 그림 (나)는 달팽이관의 입구에서는 높은 소리(높은 진동수)를 듣고, 안쪽으로 들어갈수록 낮은 소리(낮은 진동수)를 듣는 것을 나타낸 것이다.



(나) 달팽이관에서 듣는 소리의 진동수

사람이 나이를 먹거나 소음에 오래 노출이 되면 20 kHz보다 낮은 진동의 소리나 20 Hz보다 높은 진동수의 소리를 듣지 못하게 되면서 난청이 일어나게 된다. 예를 들어 음악을 들을 때 찢어지는 듯한 날카롭고 높은 소리가 이러한 난청의 원인이 될 수 있다. 처음에는 4500 Hz를 중심으로 청력 손실이 가장 크며, 점차 진행되면 4500 Hz 이상의 높은 소리와 4500 Hz 이하의 낮은 소리에 대해서도 청력 장애를 일으킨다. 이때까지 느끼지 못하는 경우가 많은데, 점차로 심해져서 2000~3000 Hz까지 청력 장애가 오면 일상생활에서 대화에 어려움이 생긴다.

6. 소리 정보의 인식과 활용

우리는 소리를 듣고, 큰 소리인지 작은 소리인지, 또는 높은 소리인지 낮은 소리인지를 구별할 수 있다.

그러나 같은 세기로 같은 진동수의 소리를 내더라도 서로 다르게 들리는 경우가 있다. 예를 들면, 바이올린으로 '도' 소리를 내는 경우와 파이노로 '도' 소리는 내는 경우가 그렇다. 이처럼 같은 세기의 같은 높이의 소리를 서로 다르게 인식하게 되는 까닭은 그림 Ⅲ-18과 같이 소리의 파형 또는 소리의 맵시가 다르기 때문이다.

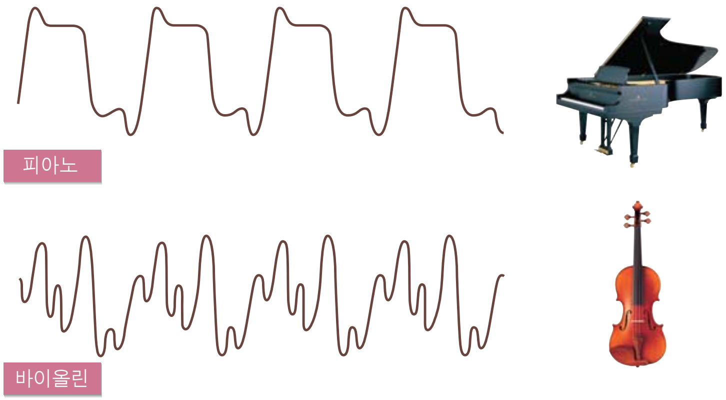


그림 Ⅲ-18 피아노와 바이올린의 파형

따라서 소리 정보는 세기(진폭)와 소리의 높낮이(진동수), 그리고 소리의 맵시(파형)로 구별될 수 있는데, 이 세 가지를 **소리의 3요소**라고 한다.

또한 사람이 소리를 낼 때에도 '아' 소리를 내는 경우와 '우' 소리를 내는 경우에 그림 Ⅲ-19와 같이 서로 파형이 다른 것을 볼 수 있다. 우리는 이러한 파형의 차이를 인식하여 소리를 듣고 '아' 소리인지 또는 '우' 소리인지를 인식하게 된다.

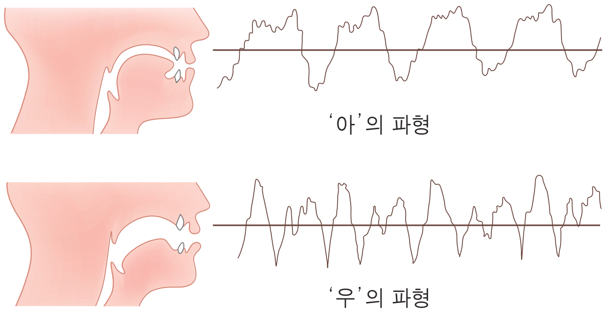


그림 Ⅲ-19 '아'와 '우'의 파형

최근의 음성 인식 장치는 사람이 말하는 소리를 컴퓨터가 인식하여 글로 바꾸어 주기도 한다. 또한 지문 대신 목소리를 이용하여 사람을 구별하여 인식하는 장치가 개발되어 있으며, 그림 Ⅲ-20와 같이 사람의 목소리를 인식하여 작동하는 기계나 프로그램도 개발되어 있다.



그림 Ⅲ-20 음성 인식 검색

연구 3. 우리 주변에서 활용하고 있는 음성 인식 장치의 사례를 찾아보자.



3 소리와 악기

학습 목표

1. 악기에서 소리의 높낮이를 변화시킬 수 있는 원리를 설명할 수 있다.
2. 공명과 간섭으로 소리가 커지거나 작아지는 현상을 설명할 수 있다.
3. 음계에서 진동수의 변화와 진동수 비로 화음을 설명할 수 있다.
4. 화음과 소음의 차이를 구별할 수 있다.

악기는 공기를 진동시켜 듣기 좋은 일정한 음 높이의 음파를 만들어 내는 장치이다. 악기에서 여러 가지 높이의 소리를 어떻게 내는지, 큰 소리가 나도록 하기 위한 원리가 무엇인지, 그리고 화음에는 어떤 규칙성이 있는지 알아보자.

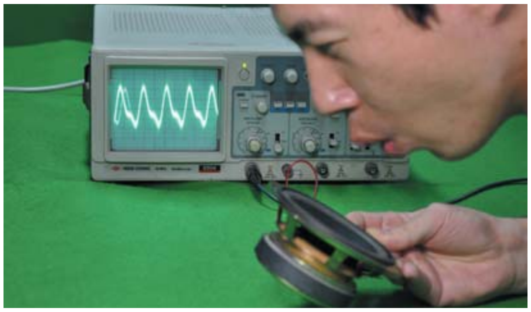
1. 높은 소리와 큰 소리

소리 신호를 감지할 수 있는 센서 또는 마이크를 이용하면 소리 신호를 전기 신호로 바꿀 수 있다. 또한, 오실로스코프 장치를 이용하면 전기 신호를 화면에 나타나게 할 수 있다.

다음의 탐구에서 마이크와 오실로스코프로 소리 신호를 눈으로 직접 살펴보자.

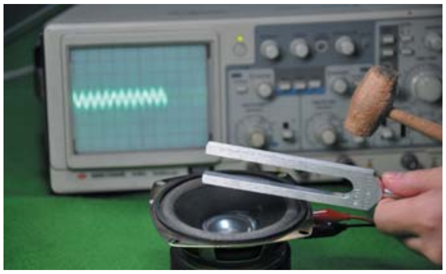
탐구 5 | 시범 관찰 **낮은 소리와 높은 소리, 큰 소리와 작은 소리**

준비물 마이크 또는 스피커, 오실로스코프



과 정
1. 마이크 또는 스피커를 오실로스코프의 입력 단자에 연결한다.
2. 마이크 또는 스피커 앞에서 큰 소리, 작은 소리, 높은 소리, 낮은 소리와 같은 여러 가지 소리를 내면서 소리의 여러 가지 특징을 관찰하여 보자.

정 리
1. 여러 가지 소리의 특징을 비교 설명하여 보자.
2. 높은 소리일 때 파동 모양은 어떠한가? 또 큰 소리일 때 파동 모양은 어떠한가?





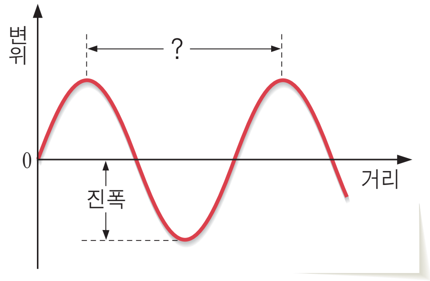
오실로스코프에서 가로축은 시간을 나타내므로 파동의 마루에서 마루까지의 거리는 주기(T)를 의미한다. 또한 주기의 역수$\left(\frac{1}{T}\right)$가 진동수(f)이므로, 파동이 촘촘하게 나타난 경우에는 주기가 짧아 진동수가 큰 경우라고 할 수 있다.

마이크에서 높은 소리를 내면 파동이 촘촘하게 나타나므로 높은 소리는 진동수가 큰 경우라는 것을 알 수 있다. 또 화면에서 세로축은 소리 신호의 세기에 해당하므로 진폭이 클수록 센 소리에 해당된다고 하겠다.

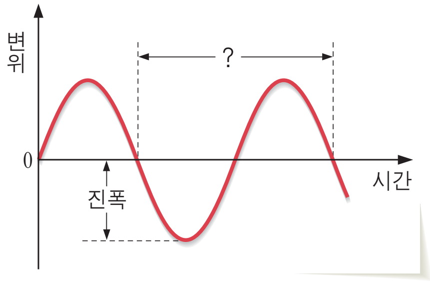
스피커와 마이크

스피커는 전기 신호를 소리 신호로 바꾸어주는 장치이지만, 반대로 소리 신호를 전기 신호로 바꿀 수도 있다. 따라서 스피커를 마이크로 사용할 수도 있다.

? 물음 5. 파동을 나타낼 때 가로축을 다음 그림 (가)와 같이 거리로 나타내는 경우와 그림 (나)와 같이 시간으로 나타내는 경우가 있다. 각 경우에서 마루와 마루 사이의 거리에 해당하는 것은 각각 무엇인가?



(가)



(나)

2. 악기 소리의 높낮이

진동수가 크면 높은 소리가 나므로 악기에서 진동이 빠르게 일어나도록 하면 높은 소리가 난다.

그러면 기타의 경우에 줄의 장력과 길이, 그리고 줄의 굵기에 따라 어떻게 소리의 높낮이가 변화하는지 알아보자.

탐구 6 시범 관찰 기타 줄의 낮은 소리와 높은 소리

• **준비물** 기타

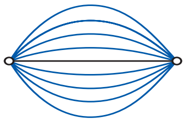
• **정 리**

1. 줄을 묶는 곳을 돌려 줄을 세게 당기거나 느슨하게 풀면서 기타 줄의 장력(당기는 힘)을 변화시켜 보자.
   ⇨ 기타 줄의 장력에 따라 소리의 높낮이가 어떻게 달라지는가?
2. 기타 줄을 손가락으로 눌러 진동하는 기타 줄의 길이를 변화시키면서 기타 줄을 튕겨 보자.
   ⇨ 기타 줄의 길이에 따라 소리의 높낮이가 어떻게 달라지는가?
3. 굵은 기타 줄과 가는 기타 줄을 각각 튕겨 보자.
   ⇨ 기타 줄의 굵기에 따라 소리의 높낮이가 어떻게 달라지는가?

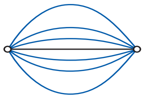


탐구 6과 같이 기타 줄을 당기는 힘, 즉 장력을 크게 하면 높은 소리가 난다. 그 까닭은 줄을 세게 당기면 줄이 빨리 제자리로 돌아가려는 복원력이 크게 작용하여 진동이 빨리 일어나기 때문이다. 스프링에 물체를 매달아 진동시키는 경우에도 같은 스프링을 짧게 자르면 탄성 계수가 커지면서 진동이 빨리 일어나는 것을 관찰할 수 있다.

줄의 길이와 파장



(가) 긴 줄



(나) 짧은 줄

줄의 길이가 짧아지면 파장이 짧아진다.

또 기타 줄을 튕겨 보면 기타 줄이 굵을 때 낮은 소리가 난다. 굵은 기타 줄이 낮은 소리가 나는 까닭은 굵은 기타 줄이 무거워 관성이 크기 때문이다. 관성이란, 물체의 운동 상태를 유지하려는 정도를 나타낸 것이다. 따라서 관성이 크면 정지한 물체는 계속 정지해 있으려고 하고, 움직이는 물체는 계속 움직이려고 한다. 또한, 운동 방향도 바꾸기 어렵다. 이러한 물체의 관성은 질량이 클수록 크다. 따라서 굵은 기타 줄이 관성이 크고 운동이 잘 변하려고 하지 않기 때문에 진동이 천천히 일어나 낮은 소리가 나는 것이다.

또, 기타에서 소리의 높낮이를 변화시키 방법으로는 줄의 길이를 변화시키는 방법이 있다. 즉, 같은 줄이지만 손가락으로 줄을 눌러 보면 진동하는 줄의 길이가 짧아질 때 높은 소리가 나는 것을 알 수 있다. 그 까닭은 길이가 짧아지면 기타 줄에서 진동할 때 파장이 짧아지기 때문이다. 그러면 줄에서의 파동 속력은 일정하므로 줄의 진동수가 커져 높은 소리가 난다.

이번에는 포도주 잔을 문질러 소리를 내는 경우를 생각해 보자. 그림 Ⅲ-21의 (가) 같이 포도주 잔에 물을 넣고 잔 입구 모서리를 따라 손가락으로 마찰을 일으켜 문지르면 컵이 진동하면서 아름다운 소리가 난다.



(가) 물 높이에 따라 다른 소리가 나는 포도주 잔



(나) 포도주잔 속 물의 진동

그림 Ⅲ-21 포도주 잔의 진동

그림 (나)에서 실제로 소리가 날 때 컵 안쪽의 수면 위를 보면 컵의 진동에 의해 수면 위가 떨리는 것을 볼 수 있다. 이때 컵의 크기를 일정하게 하고 물의 양을 달리하면 소리의 높낮이를 변화시킬 수 있다. 즉, 컵에 물이 많을 수록 낮은 소리가 난다.

포도주 잔에 물이 많으면 낮은 소리가 나는 까닭을 다음 탐구를 통해 알아보자.

탐구 7 가설 제안하기 **포도주 잔의 높은 소리와 낮은 소리**

준비물 포도주 잔 동일한 것으로 두 개

과 정



1. 같은 포도주 잔 2개를 준비하고, 하나는 물을 조금 넣고 다른 하나는 물을 많이 넣는다.
2. 각각 문질러 어느 컵에서 높은 소리가 나는지 관찰한다.
   ⇨ 물의 양에 따라 소리의 높낮이가 달라지는 까닭은?
3. 과학자들은 관찰한 현상에 대하여 '왜?' 라는 질문이 생겼을 때, 임시적인 답을 제안해 보는데, 이때 '왜' 라는 질문에 대한 임시적 답을 설명 가설이라고 한다.
   ⇨ 과정 2번에서 제시된 질문에 대해서 가설을 제안해 보자. 가설을 제안할 때 다음 내용을 참고하여라.
   ① 가설은 현재 옳은지 아닌지 알 수 없다. 가능한 답을 찾는 것이 중요하다.
   ② 가설은 꼭 하나일 필요는 없다. 다양한 가설을 제안해 보자.
   ③ 가설을 제안할 때에는 기존에 유사한 다른 상황을 활용하는 것이 좋다. 예를 들면, 기타 줄에서 줄의 질량이 커지면 관성이 커서 진동하기 어려워서 낮은 소리(낮은 진동수의 소리)가 나는 현상을 활용해 보아라.

포도주 잔에 물이 많으면 전체 질량이 증가한다. 질량이 증가하면 관성이 커지므로 진동하기 어려워진다. 따라서 진동이 천천히 일어나게 되어 낮은 소리가 난다.

그림 Ⅲ-22에서와 같이 빈병 입구에 입을 대고 바람을 넣으면 소리가 난다. 그런데 이 경우에는 물을 많이 넣을수록 높은 소리가 난다. 따라서 병에 바람을 불어 소리가 나는 원리가 포도주 잔의 경우와 다르다는 것을 알 수 있다. 이에 대한 자세한 내용은 뒤에서 다룰 것이다.



그림 Ⅲ-22 빈병 안에서의 공기의 진동

3. 악기에서의 정상파

앞에서는 기타 줄이 굵으면 낮은 소리가 나고, 기타 줄을 세게 당기거나 기타 줄을 짧게 하면 진동이 빨리 일어나 높은 소리가 난다는 것을 알아보았다. 이 외에 기타 줄이 진동할 때에는 어떤 특징이 있을까? 기타 줄이 진동할 때의 특징을 알면, 다른 악기의 경우에도 소리가 나는 현상을 보다 쉽게 설명할 수 있다.

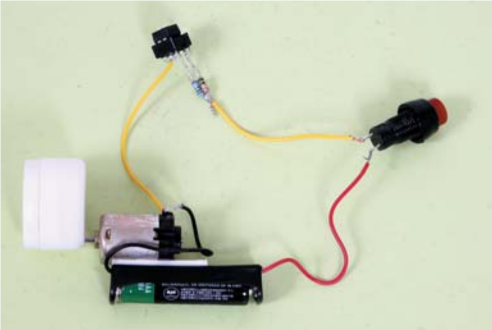
다음 탐구는 줄이 진동할 때의 현상을 나타낸 것이다. 잘 관찰해 보고 특징을 찾아보자.

탐구 8 **시범 관찰** **줄이 진동할 때의 특징**

준비물 굵은 실(지름 약 2 mm, 길이 약 50 cm), 진동 장치 2개(건전지와 모터, 0.5 Ω 저항 또는 1 Ω 저항과 스위치가 직렬로 연결된 장치), 플라스틱 케이스, 페트병 마개

과 정

1. 오른쪽 그림과 같이 1.5 V 건전지를 끼우개에 끼우고 스위치와 모터가 부착된 진동 장치를 준비한다.
2. 스위치와 모터 사이에 저항을 연결한다.
3. 진동 장치의 모터에 페트병 마개를 끼운다. 이때 페트병 마개는 중심에서 벗어난 곳에 구멍을 뚫어 끼우도록 한다.
4. 진동 장치에 끈을 묶는다.
5. 스위치를 켜서 모터가 회전하도록 하고, 끈을 잡고 끈의 길이를 변화시켜 보자.
   ⇨ 다음 그림과 같이 줄이 진동하는 경우를 찾을 수 있는가?
6. 0.5 Ω 저항이 연결된 진동 장치와 1 Ω 저항이 연결된 전동 장치를 이용하여 다음 그림과 같이 줄이 진동하는 경우의 수를 각각 찾아보자.



정 리

1. 0.5 Ω 저항이 연결된 진동 장치는 모터의 회전수가 빠르므로 1 Ω 저항이 연결된 경우보다 더 빠르게 진동한다. 줄의 진동을 다르게 할 때 줄이 진동하는 모습에서 어떠한 차이가 있는지 찾아보자.
2. 위에서 관찰한 결과를 짧은 기타 줄에서 높은 소리가 나는 경우와 비교해 보자.





그림 Ⅲ-23은 기타 줄이 진동하는 모습을 시간별로 나타낸 그림이다. 시간별로 기타 줄이 진동하는 모습은 그림과 같지만, 줄이 위아래로 매우 빠르게 진동하므로 보통은 그림 Ⅲ-24와 같이 관찰된다.

이와 같은 줄의 진동 모습을 보면 줄이 가장 크게 진동하는 부분이 있고, 거의 진동하지 않는 부분이 있다. 이때 가장 크게 진동하는 부분을 배라 하고, 거의 진동하지 않는 부분을 마디라고 한다.

이와 같이 진동할 때에는 줄이 위아래로만 진동하는 것으로 보이고, 파동이 오른쪽이나 왼쪽으로 진행하는 것으로는 보이지 않는다. 따라서 이러한 경우에 파동이

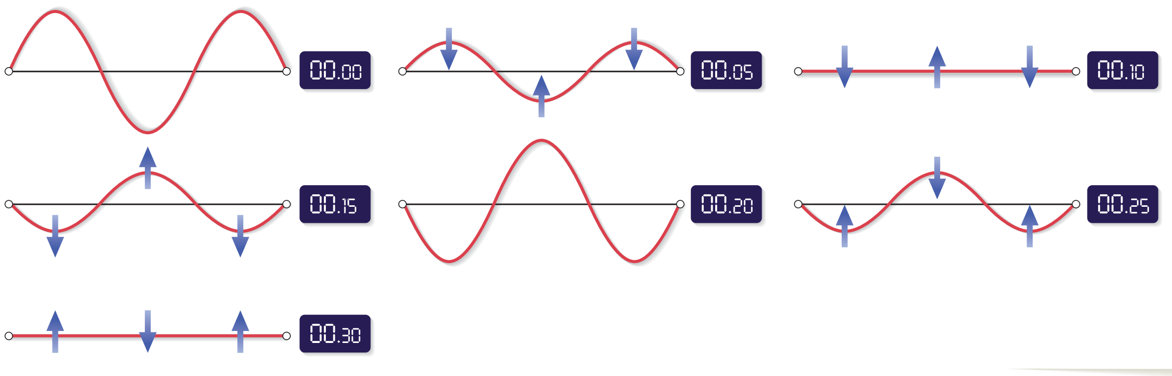


그림 Ⅲ-23 기타 줄의 시간별 진동

겉보기에 진행하지 않고 제자리에서만 진동하는 것으로 보인다고 해서 정상파라고 한다.

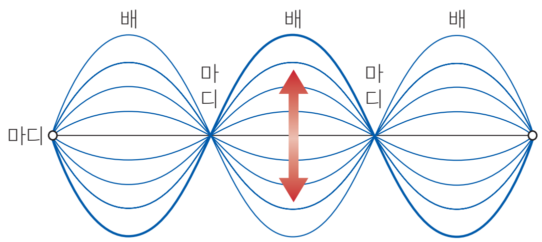


그림 Ⅲ-24 기타 줄의 진동

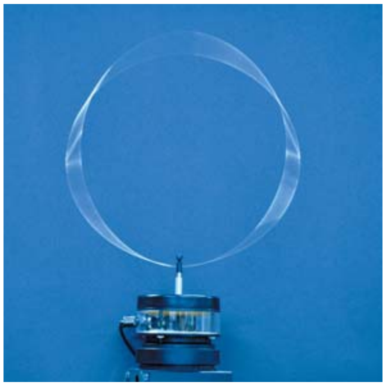
창의력 1. 정상파의 특징을 다시 살펴보고, 나름대로 정상파의 특징을 잘 나타낼 수 있는 새로운 용어를 제안해 보자. 예를 들면, 모양을 보고 '비엔나 소세지파' 라고 이름 붙일 수도 있겠다.

정상파(Standing wave)
실제로 파동은 진행하나 머물러 있는 것처럼 보이는 파동

원형으로 된 줄의 경우에도 이러한 정상파를 쉽게 관찰할 수 있다. 진동하는 줄을 원형으로 연결하면 원형 줄에서도 정상파가 만들어진다.

그림 Ⅲ-25의(가), (나)는 원형 쇠줄 고리를 진동 장치에 연결하여 진동할 때 찍은 그림이다. 그림 (가)는 배와 마디가 각각 3개인 것을 볼 수 있고, 그림 (나)는 배와 마디가 각각 5개씩인 것을 볼 수 있다.

이런 진동 모습을 보면 어떤 경우에 진동수가 높은지 알 수 있다. 즉, 마디와 마디 사이가 짧으면 줄의 길이가 짧은 경우에 일어나는 진동과 같으므로 진동수가 더 크다는 것을 알 수 있다. 그림 (나)가 그림 (가)보다 진동수가 큰 경우이고, 실제로 높은 소리가 나는 경우이다.


(가)

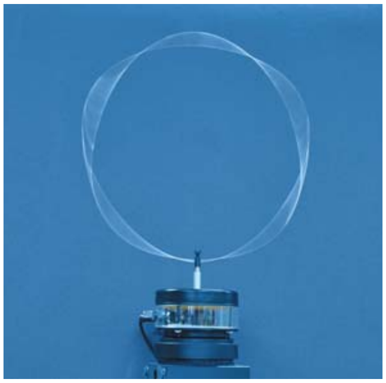
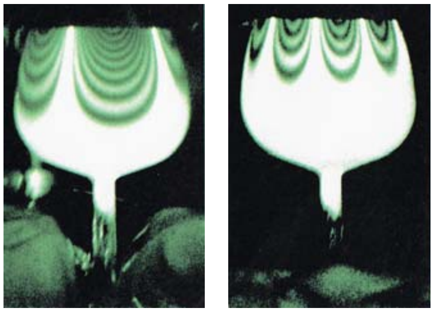

(나)

그림 Ⅲ-25 원형 줄에서의 정상파



(가) (나)

그림 Ⅲ-26 포도주 잔의 진동 모습

포도주 잔의 경우도 마찬가지이다. 그림 Ⅲ-26은 포도주 잔이 진동할 때 포도주 잔의 윗부분이 마치 원형 줄이 진동하는 것과 같이 진동하는 것을 특별한 방법으로 촬영한 것이다.

포도주 잔이 진동하는 그림에서 물결 무늬가 나타난 배 부분과 하얀 마디 부분을 보면, 즉 그림 (나)가 (가)보다 진동수가 높은 경우이다. 따라서 높은 소리가 나는 경우임을 알 수 있다.

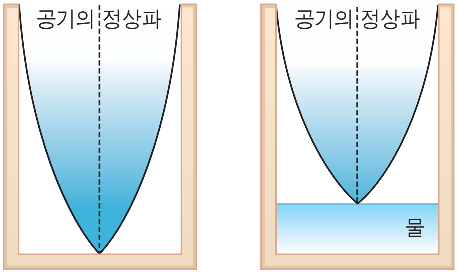
기타는 줄의 진동에 의해서, 포도주 잔은 유리잔의 진동에 의해서 소리가 난다. 이 외의 다른 악기들은 다른 진동에 의해서 소리를 만들어 낸다. 예를 들면 피리와 같이 공기의 진동에 의해서 소리를 내는 악기도 있다.

탐구 9 해 보기 유리병으로 소리내기

준비물 속이 빈 유리병, 물

과 정
1. 그림 (가)와 같이 속이 빈 유리병 입구에서 바람을 불어 소리를 내보자.
2. 유리병 속에 물을 조금 넣고 바람을 불어 소리를 내보자.





(가) (나)

정 리
1. 과정 1과 2에서 소리의 높낮이가 어떻게 달라지는지 설명해 보자.
2. 물의 양에 따라 소리의 높낮이가 어떻게 변화하는지 그림 (나)를 보고 설명해 보자.



그림 Ⅲ-27 피리

탐구 9와 같이 유리병 입구에 바람을 불어 소리를 내면, 물이 많을 때 높은 소리가 나고, 물이 적을 때 낮은 소리가 난다. 그 까닭은 공기 진동이 정상파를 이룰 때, 물이 많으면 공기 기둥의 길이가 짧아져서 파장이 짧아지기 때문이다. 짧은 기타 줄에서 높은 소리가 나는 것과 같은 원리이다.

연구 4. 유리병에 물을 넣고 따르면 '꿀룩꿀룩' 소리가 난다. 이때 소리의 높낮이가 어떻게 변하는지 설명하여 보자.

피리도 마찬가지이다. 그림 Ⅲ-27과 같이 피리의 구멍을 모두 막으

면 공기 기둥이 길어지므로 낮은 소리가 난다. 그러나 구멍을 열면 구멍으로 공기가 새 나오므로 공기 기둥이 짧아지면서 높은 소리가 난다.

그런데 가끔 '도' 소리를 내는데 구멍을 더 열거나 닫지도 않았는데 갑자기 높은 '도' 소리가 나는 경우가 있다. 이런 경우는 그림 Ⅲ-28과 같이 공기 기둥의 길이는 같지만, 안에서 공기 진동이 다르게 일어날 수 있기 때문이다. 즉, 그림 (가)에서의 공기 진동의 파장이 그림 (나)보다 더 짧다. 그러면 같은 공기 기둥이지만 진동수가 더 높은 소리가 나는 것이다. 악기는 그림 Ⅲ-29와 같이 줄을 진동하는 기타, 가야금, 바이올린 등의 현악기, 판을 진동하는 북, 꽹과리, 장구 등의 타악기, 그리고 긴 관속의 공기를 진동시키는 피리, 대금, 플룻 등의 관악기로 나뉜다. 이들 악기들은 각기 독특한 모양의 정상파를 만들어 특유의 음색으로 아름다운 연주를 할 수 있다.

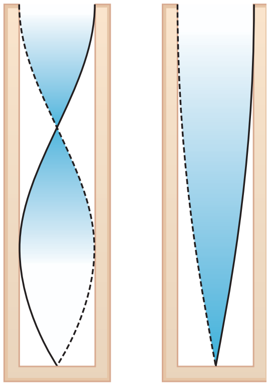
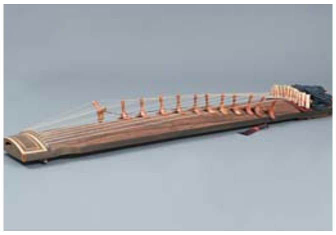
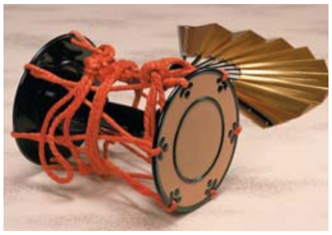

(가) (나)

그림 Ⅲ-28 공기 진동


(가) 가야금(현악기)


(나) 장구(타악기)


(다) 플룻(관악기)

그림 Ⅲ-29 여러 가지 악기

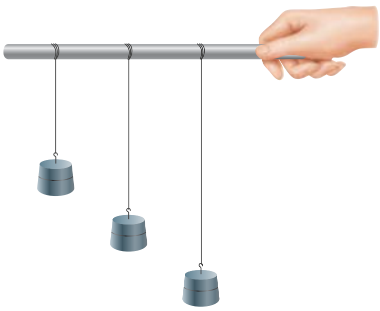
4. 소리의 공명

악기에서 소리의 높낮이가 어떻게 변화될 수 있는지 알아보았고, 줄이나 판 또는 공기가 진동할 때 정상파의 모습도 알아보았다. 그런데 기타 줄이 진동하면서 소리가 날 때 기타 줄만으로는 소리가 작을 수밖에 없다. 따라서 기타 줄의 소리를 크게 하기 위해 울림통이 필요하다.

울림통의 원리를 다음 탐구를 통해 알아보자.

탐구 10 시범 관찰 신기한 진자

준비물 막대, 실 3개, 추(50 g) 3개



과 정 1. 줄이 다른 세 개의 추가 막대에 매달려 있다. 3개의 추 중에서 하나를 선택해 보자.

⇨ 다른 추는 그대로 있는데 선택한 추만 진동시킬 수 있을까?

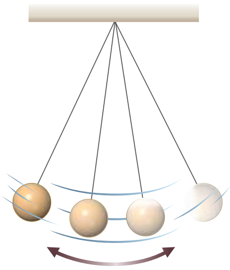
2. 추를 정지시키고, 이번에는 다른 추를 선택해 보자.

⇨ 이번에도 선택한 추만 진동시킬 수 있을까?

단진자의 주기

다음 그림과 같이 단진자의 주기 T는 줄의 길이 l에 따라 달라진다.

$$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$



탐구 10은 마치 마술처럼 보이지만, 여기에 과학의 원리가 있다. 즉 손으로 잡고 있는 막대를 아주 조금씩 흔들어 준 것이다.

추가 진동할 때 실의 길이가 길면 천천히 진동하고 길이가 짧으면 빠르게 진동한다. 즉, 짧은 진자는 주기가 짧고 긴 진자는 주기가 길다.

만일 막대를 크게 손으로 흔들어 주면 3개의 추도 따라서 흔들릴 것이다. 이때 한 추를 골라 그 추의 진동 주기와 똑같이 맞추어 흔들어주면 아주 조금씩 흔들어 주어도 그 추의 진동은 커지지만 다른 추는 진동이 커지지 않는다. 이와 같이 외부에서 준 진동이 원래 자신의 진동과 일치하여 진동이 점점 커지는 현상을 **공명**이라고 한다.

기타에서는 기타 줄을 튕겨 소리가 나게 된다. 이때 발생한 소리는 기타의 통도 진동시키고, 통 안의 공기도 진동시킬 수 있다. 처음에 기타 줄의 진동에 의한 소리는 약하지만, 그 소리가 기타의 통과 통 안의 공기 진동과 함께 일어나게 되면 그 소리는 처음보다 훨씬 커지게 된다. 이와 같이 악기에서는 공명을 이용하여 소리를 크게 한 경우가 많다.

공명으로 무너진 다리

군인이 다리를 건널 때에는 발을 맞추지 말라는 말이 있다. 1831년 영국 맨체스터 인근에 있던 브로튼 현수교는 실제로 군인들이 발을 맞추면서 걸었다가 무너졌다.

연구 5. 미국의 시애틀 근처의 타코마라는 곳에 있던 다리는 1940년에 작은 바람이었지만, 규칙적인 바람이 불자 다리가 흔들리다가 무너졌다고 한다. 실제 다리가 무너진 동영상은 인터넷에서도 쉽게 찾아 볼 수 있다. 어떻게 다리가 무너질 수 있었는지 생각하여 보자.



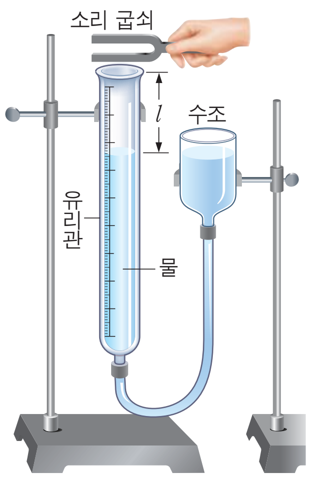
연구 6. 사자성어인 '이심전심'이라는 말의 의미를 생각해 보고, '공명'과 연결해 보자. 이 외에도 과학 용어와 사자성어 또는 속담을 서로 연결해 보자.

탐구 11 해 보기 기주 공명 장치에 의한 공명

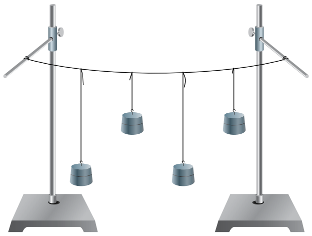
준비물 기주 공명 장치, 소리 굽쇠, 고무 망치

과정

1. 오른쪽 그림과 같은 기주 공명 장치를 준비하자. 기주 공명 장치는 수조를 위아래로 움직이면서 유리관 속의 물의 양을 변화시킬 수 있게 되어 있다.
2. 고무 망치로 소리 굽쇠를 두드려 소리를 내고, 기주 공명 장치의 유리관 위에 가까이 놓는다.
3. 소리 굽쇠가 소리를 내는 동안 수조를 위아래로 천천히 움직이면서 유리관 속의 물의 높이를 변화시켜 보자.
   ⇨ 유리관 속의 물의 높이가 변하다가 특별히 소리가 크게 들리는 경우가 있는가? 그 까닭은 무엇인가?



물음 6. 오른쪽 그림은 길이가 같은 2개의 진자 2쌍을 매달아 놓은 장치이다. 만일 첫 번째 추만 진동시킨다면 어떤 현상이 생길까?



5. 소리의 간섭

두 소리가 만나면 원래 소리보다 커지는 경우도 있고, 작아지는 경우도 있다. 이러한 현상을 이해하기 위해서는 두 개의 파동이 서로 겹칠 때 나타나는 특징을 이해할 필요가 있다.

먼저 물결파의 경우를 생각해 보자. 그림 Ⅲ-30과 같이 물결파를 각각 다른 지점에서 발생시키면 진행하다가 서로 만나서 중첩될 수 있다.



그림 Ⅲ-30 파동의 간섭

두 파동이 서로 만나 중첩을 하면, 두 파동은 합쳐져서 원래의 파동보다 진폭이 더 커지거나 작아질 수 있는데, 이러한 현상을 **파동의 간섭**이라고 한다.

이때 그림 Ⅲ-31의 (가)와 같이 파동의 마루 부분과 다른 파동의 마루 부분이 서로 만나면 합성된 파의 진폭이 더 커지게 된다. 그러나 그림 (나)와 같이 파동의 마루 부분과 파동의 골 부분이 서로 만나면 합성된 파의 진폭은 더 작아지고, 심지어 없어지기도 한다.

이와 같이 두 파동이 만나 진폭이 커지는 경우를 **보강 간섭**이라고 하고, 반대로 진폭이 작아지거나 없어지는 경우를 **소멸 간섭**이라고 한다.

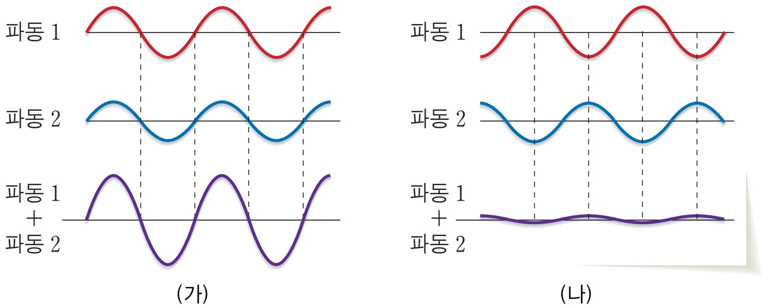


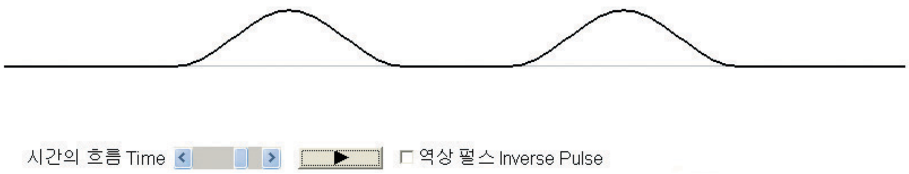
그림 Ⅲ-31 파동의 중첩

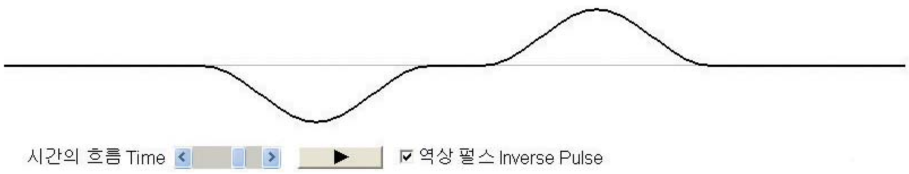
연구 7. 2장의 OHP 필름에 오른쪽 그림과 같은 파동 모양을 각각 그려서 서로 겹치면 파동이 간섭된 무늬를 볼 수 있다. 다양한 모양의 파동을 그려서 간섭된 무늬가 어떻게 달라지는지 관찰해 보자.



탐구 12 가상 실험 **파동의 중첩과 간섭**

- **인터넷** 이동준 선생님의 JAVA 실험실(http://mully.net/lee/)
- **과 정** 1. 위의 인터넷 사이트에서 '파동의 중첩과 간섭' 가상 실험을 선택하자.
  2. '역상 펄스(뒤집혀진 펄스)'를 선택하지 않으면 마루 부분의 파동과 마루 부분의 파동을 중첩시킬 수 있다.
     ⇨ 두 파동이 중첩할 때 파동이 더 커지는가? 작아지는가?
  3. 이번에는 '역상 펄스'를 선택하여 마루 부분의 파동과 골 부분의 파동을 중첩시켜 보자.
     ⇨ 두 파동이 중첩할 때 파동이 더 커지는가? 작아지는가?





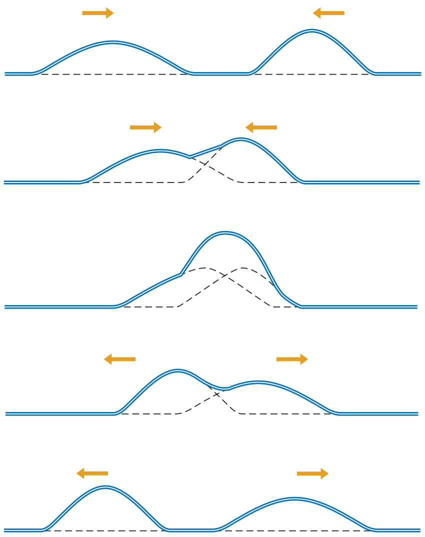


그림 Ⅲ-32 서로 다른 파동의 중첩

파동의 간섭은 반드시 두 개의 파동이 같을 때만 일어나는 것은 아니다. 그림 Ⅲ-32와 같이 서로 다른 파동도 중첩하면 진폭이 더 커질 수 있다.

소멸 간섭의 원리는 소음을 줄이는 데 이용할 수 있다. 예를 들어 공장에서 나는 기계 소음을 마이크로 전기 신호로 바꾼 뒤 마루와 골이 서로 뒤집어지도록 하여 스피커에서 소리로 다시 나오게 할 수 있다.

그러면 원래 기계에서 나오는 소음과 스피커에서 나오는 소음이 소멸 간섭을 하여 파동의 진폭이 작아지게 되고, 소음이 줄어들게 된다.

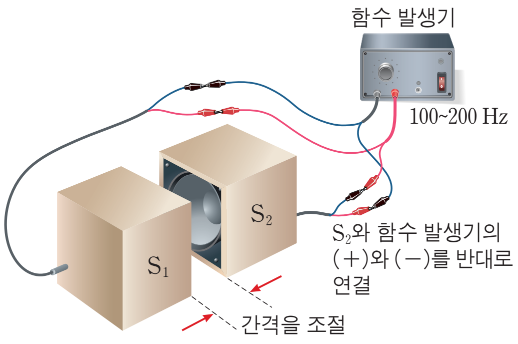
연구 8. 오른쪽 그림과 같이 소리굽쇠를 고무 망치로 두드려 소리가 날 때 귀 옆에서 앞뒤로 움직여 보자. 소리가 커지거나 작아지는 경우가 있는가? 왜 그런지 설명하여 보자.



탐구 13 해 보기 **파동의 소멸과 간섭**

- **준비물** 스피커 두 개, 집게 전선, 함수 발생기
- **과 정**
  1. 오른쪽 그림과 같이 함수 발생기에 스피커 S_1을 연결하면 소리를 들을 수 있다.
  2. S_2 스피커를 함수 발생기에 연결한다. 이때 S_2 스피커의 (+)를 함수 발생기의 (−)와 연결하고, S_2 스피커의 (−)는 함수 발생기의 (+)와 연결한다.
  3. 두 개의 스피커를 마주 보게 하고, 간격을 조절해 본다.

  ⇨ 소리가 작아져서 거의 안 들리는 경우가 있는가?



탐구 13과 같이 소음을 제거하는 방법은 그림 Ⅲ-33과 같은 헤드폰에도 적용할 수 있는데, 특히 비행기나 열차에서 사용할 때 유용하다. 즉, 외부에서 들어오는 비행기 소리나 열차 소리와 같은 소음을 입력하여 마루와 골이 뒤집힌 소음 파동을 스피커로 발생시키면 외부에서 들어오는 소음과 서로 간섭하여 파동의 진폭을 작게 만들어 소음을 줄일 수 있다.



그림 Ⅲ-33 헤드폰

6. 소리의 화음

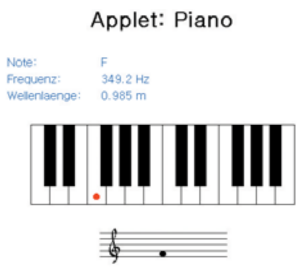
소리가 만나면 중첩에 의해 소리가 커지거나 작아지는 현상만 있는 것은 아니다. 여러 진동수의 소리가 만나면 화음을 이루어 아름다운 소리로 변화하기도 한다. 그렇다면 화음은 어떻게 만들어질 수 있을까?

여러 높낮이의 소리로 악기에서 어떻게 화음이 만들어지는지 다음 탐구를 통해 알아보자.

탐구 14 기상 실험 **피아노의 음계**

- **인터넷** http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/applist/sound/sound.html
- **과 정**
  - 위 인터넷 사이트에서 여러 음계의 소리의 높낮이를 직접 확인해 보자.

  ⇨ 소리만 듣고 무슨 음계인지 맞출 수 있는가?



평균율

평균율은 1700년경 베르크마이스터라는 사람이 고안한 것으로 알려져 있다. 평균율이란, 한 옥타브의 진동수 차이가 2배이고, 그 사이를 12단계로 나누어 각 단계별 진동수 차이가 $\sqrt[12]{2}=1.06$배 차이가 난다는 것을 의미한다.

$\sqrt[12]{2}=1.0594631$은 의미는 1.0594631을 12번 곱하면 2가 된다는 의미이다.

탐구 14에서와 같이 다장조에서 낮은 도와 높은 도의 진동수 차이는 2배이다. 즉, 낮은 도의 진동수는 261.6 Hz이고, 높은 도의 진동수는 523.3 Hz로 약 두 배이다. 마찬가지로, 낮은 라의 진동수는 440 Hz이고, 높은 라의 진동수는 880 Hz로 두 배이다.

평균율에 의하면 낮은 도와 높은 도 사이의 진동수가 2배이고, 낮은 도와 높은 도 사이에 음이 12단계로 나누어져 있으므로, 각 음과 다음 음의 진동수 차이는 $\sqrt[12]{2}=$ 1.06배이다. 즉, 낮은 도의 진동수는 261.6 Hz이고, 다음 음인 도$^{\#}$의 진동수는 277.2 Hz인데, 나누어 보면 $\frac{277.2}{261.6}=1.06$임을 알 수 있다.

마찬가지로 도와 레의 진동수 차이는 $(\sqrt[12]{2})^2=\sqrt[6]{2}=1.12$배이다. 확인해 보면, 도의 진동수는 261.6 Hz 이고, 레의 진동수는 293.7 Hz이므로 $\frac{293.7}{261.6}=1.12$임을 알 수 있다.



그림 Ⅲ-34 파이프 오르간

각 음계의 진동수를 알면 이를 이용하여 악기를 만들 수 있다. 파이프의 공기 진동을 이용한 악기로는 그림 Ⅲ-34와 같은 파이프 오르간이 있다.

예를 들면 파이프에서 공기 진동에 의해 소리가 날 때 파이프의 길이를 다르게 하면 다른 음계의 소리를 낼 수 있는데, 이때 파이프의 길이는 각 음계의 진동수로부터 결정할 수 있다.

음계에서 또 흥미로운 점은 화음이다.

먼저, 도미솔의 진동수 차이를 계산해 보면 다음과 같다.

도 : 미 : 솔$=1:\sqrt[12]{2^4}:\sqrt[12]{2^7}=1:1.26:1.5=$약 4 : 5 : 6

이와 같이 화음을 이루는 경우는 각 진동수들이 되도록 간단한 정수비이다. 그러나 도미파와 같이 화음이 아닌 경우에 진동수의 비를 구해 보면, 간단한 정수비가 아니라는 것을 알 수 있다.

도 : 미 : 파$=1:\sqrt[12]{2^4}:\sqrt[12]{2^5}$

$=1:1.26:1.33=$약 12 : 15 : 16

표 Ⅲ-2 음의 진동수

음	음이름	진동수(Hz)
A	라	220.0
$A^{\#}$, B^{b}	시	233.1
B		246.9
C	도	261.6
$C^{\#}$, D^{b}		277.2
D	레	293.7
$D^{\#}$, E^{b}		311.1
E	미	329.6
F	파	349.2
$F^{\#}$, G^{b}		370.0
G	솔	392.0
$G^{\#}$, A^{b}		415.3
A	라	440.0
$A^{\#}$, B^{b}		466.2
B	시	493.9
C	도	523.3

물음 7. 피아노의 '라' 음의 진동수는 220 Hz이다.

(1) 440 Hz는 어떤 음일까?

(2) 바로 위의 '시' 음은 몇 Hz인지 계산해 보자. 단, $\sqrt[12]{2}=1.0594631$이다.

(3) 262 Hz, 350 Hz, 440 Hz의 소리를 동시에 내고 있다. 각각 262로 나누어 보아라. 비율이 어떻게 되는가? 다시 모두 3을 곱해 보아라. 비율이 어떻게 되는가? 이 3음은 화음이 될 수 있을까?

다음 탐구에서 실제로 각 음계의 진동수로부터 파이프 길이를 구하고, 파이프를 잘라 악기를 만들어 보자.

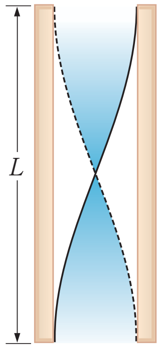
탐구 15 시범 관찰 파이프 악기 만들어 들어보기

준비물 PVC 파이프로 만든 악기

과 정 • 양쪽이 열린 파이프 안에서의 소리 진동은 그림 (나)와 같이 파이프 길이(L)가 파장의 $\frac{1}{2}$일 때 일어날 수 있다.



(가)



(나)

정 리 1. 낮은 도의 진동수가 261.6 Hz이다. 소리의 속도가 340 m/s라면 파장은 얼마인가?

2. 파이프 길이를 얼마로 하면 낮은 도의 소리가 파이프에서 나겠는가?

3. 만일 파이프 길이를 $\frac{1}{2}$이나 $\frac{1}{3}$로 짧게 하면 어떤 소리가 나겠는가?

4. 도레미파솔라시도의 진동수를 보고, 필요한 파이프 길이를 구하여라.

도 : (　　　)m	레 : (　　　)m	미 : (　　　)m	파 : (　　　)m
솔 : (　　　)m	라 : (　　　)m	시 : (　　　)m	도 : (　　　)m

5. 위에서 구한 길이의 $\frac{1}{2}$ 또는 $\frac{1}{3}$로 PVC 파이프를 자르고, 파이프 앞에서 손바닥을 쳐서 소리가 나는지 해보자. 연주가 가능한가?

과학과 **생활**

피타고라스 음계

피타고라스는 음계를 분수를 이용하여 구성하였다. 예를 들면, 줄을 진동시켜 소리가 날 때 도와 솔의 줄의 길이 차이는 $\frac{2}{3}$배라는 것이다. 즉, 줄의 길이가 $\frac{2}{3}$배로 짧아지면 완전 5도(도–솔) 차이가 난다는 것이다. 그리고 낮은 도와 높은 도의 경우에 길이 차이는 $\frac{1}{2}$배이다. 이러한 기본 원칙만 있으면 나머지 음계도 만들 수 있다.

솔의 줄을 다시 $\frac{2}{3}$배로 짧게 하면 완전 5도 차이가 나는 높은 레가 된다. 이것을 다시 2배 길게 하면 낮은 레가 된다. 따라서 낮은 레의 줄의 길이는 다음과 같다.

레일 때 줄의 길이$=$도일 때 줄의 길이$\times\frac{2}{3}\times\frac{2}{3}\times2=\frac{8}{9}$배

이제 레를 다시 $\frac{2}{3}$배로 짧게 하면 완전 5도가 시가 되므로, 시일 때 줄의 길이$=\frac{8}{9}\times\frac{2}{3}=\frac{16}{27}$배가 된다.

다시 시일 때 줄의 길이를 $\frac{2}{3}$배 하면 완전 5도 차이가 나는 높은 파가 된다. 이것을 다시 2배 길게 하면 낮은 파가 된다. 즉, $\frac{16}{27}\times\frac{2}{3}\times2=\frac{64}{81}$배가 된다.



4 마이크

학습 목표

1. 패러데이 법칙을 정성적으로 적용할 수 있다.
2. 여러 가지 마이크의 구조와 원리를 설명할 수 있다.
3. 스피커의 구조와 원리를 설명할 수 있다.

마이크는 음성 신호를 전기 신호로 바꾸어주는 장치이다. 우리 주변에는 패러데이 법칙을 이용한 마이크, 압력에 의해 전기가 발생하는 현상을 이용한 마이크 등 여러 가지 마이크가 사용되고 있다.

이러한 마이크의 원리와 구조를 알아보자.

1. 패러데이 법칙과 마이크

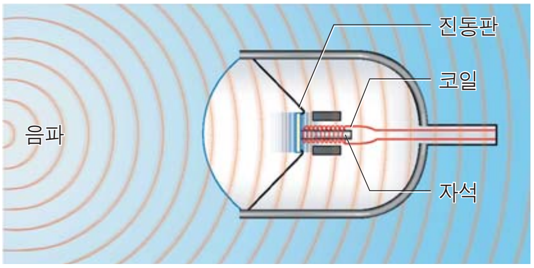


그림 Ⅲ-35 마이크의 구조

코일 속에서 자석을 움직이면 전류가 생기지만 자석 주위에서 코일이 움직여도 전류가 생길 수 있다. 그림 Ⅲ-35는 코일과 자석이 들어 있는 마이크의 구조를 나타낸다. 가운데 원통형 자석이 고정되어 있고, 그 주위에 원형 코일이 위아래로 움직일 수 있도록 되어 있다. 그리고 원형 코일은 진동판에 붙어 있다. 마이크 앞에서 말을 하면 공기 진동에 의하여 진동판이 진동하게 되고, 진동판에 붙어 있는 원형 코일도 진동하게 된다. 이때 패러데이 법칙에 의하여 원형 코일에 전류가 생기는 것이다. 이 전류를 증폭기에 입력하여 증폭시키면 스피커로 큰 소리를 들을 수 있다.

2. 스피커

마이크에서 코일이 진동하면 코일에 전류가 생긴다.

스피커는 반대로 코일에 전류를 흐르게 하여 코일이 진동하면서 소리가 나도록 한 장치이다.

예제 3

여러 겹 촘촘히 감은 코일을 이어폰 단자에 연결한 다음에 코일 속에 네오디뮴 자석을 넣는다. 그 상태에서 코일을 머리에 대어 보자. 왜 음악 소리가 들리는가?

해설 | 음성 전류가 코일에 흐르면 코일은 전자석이 된다. 따라서 코일 속에 네오디뮴 자석을 넣으면 음성 전류에 따라 코일이 힘을 받아 진동하게 된다. 이것을 머리에 대면, 코일의 진동이 머리뼈를 진동시키게 되고, 이러한 진동은 귀까지 전달된다. 따라서 공기의 진동에 의한 소리가 없더라도 뼈의 진동에 의해 음악을 들을 수 있다.

다음 탐구 활동을 통해 스피커의 내부 구조를 살펴보고, 소리가 날 때의 특징을 알아보자.

탐구 16 | 해 보기 **스피커의 구조**

준비물 라디오의 스피커

과 정

1. 스피커를 조심스럽게 분해하여 보자.
   ⇨ 코일과 자석이 어떻게 들어 있는가?
2. 라디오 이어폰 단자에 분해한 스피커를 연결하고, 스피커의 코일 속에 둥근 네오디뮴 자석을 넣어 보자.
   ⇨ 소리가 들리는가?
   ⇨ 떨림이 느껴지는가?
   ⇨ 왜 떨리는가? 떨리는 까닭을 설명하기 위해, 음성 신호가 실린 전류는 소리 진동에 따라 전류의 방향이 바뀌고, 소리 크기에 따라 전류의 세기가 변한다는 점을 이용하자.



정 리

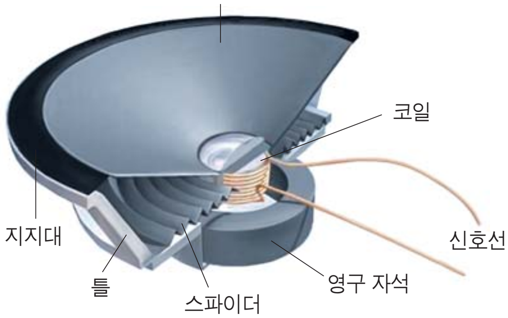
• 스피커에서 나는 소리에 어떤 변인들이 어떤 영향을 줄지 생각하여 보자. 예를 들면, 자석의 세기가 셀수록 진동이 잘 일어난다고 생각해 볼 수 있다. 다음 표의 나머지 빈칸도 채워보자.

변인	변인의 영향
자석의 세기	자석의 세기가 셀수록 진동이 크게 일어나므로 큰 소리가 난다.

마이크와 스피커는 기본적으로 같은 구조이다. 즉, 코일과 자석으로 이루어져 있다. 마이크의 경우에는 소리 진동에 의해 자석이나 코일이 진동하면 전류가 발생하는 경우이고, 스피커는 반대로 음성 신호가 들어 있는 전류를 코일에 흘려보내면, 코일이 진동하면서 소리가 발생하는 경우이다.

연구 9. 앰프의 마이크 입력 단자에 마이크 대신 스피커를 연결하고 스피커 앞에서 말을 하면, 스피커가 마이크 역할을 할 수 있을까?

물음 8. 다음은 스피커에서 소리가 나는 과정을 순서 없이 정리한 것이다. ( ) 안에 알맞은 말을 쓰고, 순서를 1부터 차례로 써 넣어라.



(1) 코일에 많은 음성 전류가 흐르면 코일은 강한 (　　)이 되고, 작은 음성 전류가 흐르면 코일은 약한 (　　)이 된다. ………… 순서 (　　)
(2) 음성 전류는 전류의 세기와 (　　)이 변하는 전류이다. ………… 순서 (　　)
(3) 라디오 이어폰 단자에서는 (　　) 전류가 나온다. ………… 순서 (　　)
(4) 스피커 콘이 흔들리면 (　　)가 진동하여 소리가 발생한다. ………… 순서 (　　)
(5) 코일 안에 있는 (　　)에 의해 코일에 전류가 흐르면 둥근 영구 자석에 끌리거나 밀릴 수 있다. ………… 순서 (　　)
(6) 코일에 연결된 스피커 콘이 흔들린다. ………… 순서 (　　)
(7) 코일에 흐르는 전류가 (　　) 때문에 둥근 영구 자석에 의해 코일이 앞뒤로 끌리거나 밀리면서 흔들린다. ………… 순서 (　　)
(8) 스피커의 코일에 (　　)가 흐르면 코일이 자석이 된다. ………… 순서 (　　)

3. 압전 마이크

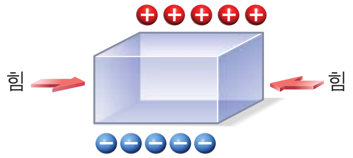


그림 Ⅲ-36 압전 물질의 전기 발생

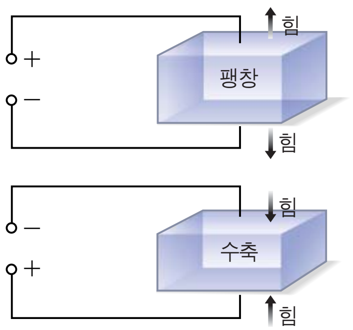


그림 Ⅲ-37 압전 물질의 팽창과 수축

소리 신호를 전기 신호로 바꾸기 위해 패러데이 법칙이 어떻게 이용되는지 알아보았다. 그러나 일상생활에서는 여러 가지 다른 마이크들이 활용되고 있다. 여기에서는 간단하게 압전 물질을 이용한 마이크에 대해서 알아보자.

물질에 압력을 가하면 전기가 발생하는 물질이 있다. 예를 들어 수정과 같은 물질은 휴대용 가스레인지에서 사용된다. 불을 켤 때 '탁' 하는 소리는 작은 망치가 압전 물질을 칠 때 나는 소리이고, 그림 Ⅲ-36과 같이 그때 작용한 힘에 의해 전압이 발생하게 된다. 이 전기로 전기 불꽃을 일으켜 가스에 불을 붙이는 것이다.

압전 물질을 이용하면 간단하게 마이크를 만들 수 있다. 즉 압전 물질 앞에 진동판을 붙이고 말을 하면, 공기 진동에 의해 진동판이 진동하고, 그 진동에 의해 그림 Ⅲ-37과 같이 압전 물질을 압축하거나 팽창시킬 수 있다. 공기가 진동하면서 압전 물질을 압축했다 팽창시키면 압전 물질이 압축할 때와 다시 팽창할 때 전압의 방향이 바뀌어 발생하게 된다. 또 소리 진동이 크면 압전 물질에서 높은 전압이 생긴다. 따라서 진동에 의한 음성 정보가 그대로 전기 신호로 바뀌게 된다.

5 광전 효과와 태양 전지



학습 목표

1. 광전 효과 현상을 관찰할 수 있다.
2. 태양 전지를 만들어 보고 기본 특성을 설명할 수 있다.
3. 광센서의 구조와 원리를 설명할 수 있다.
4. 광합성을 광전 효과와 연결하여 설명할 수 있다.

1. 아인슈타인의 광전 효과

아인슈타인은 특허국의 직원으로 일을 하면서, 1905년 1년 동안 몇 편의 논문을 발표하였다. 그 중의 한 논문은 유명한 특수 상대성 이론에 대한 논문이었고, 다른 하나는 광전 효과에 대한 논문이었다.

그 당시 대부분 과학자들은 빛이 파동이라고 알고 있었다. 그런데 아인슈타인이 발표한 광전 효과는 빛을 입자라고 주장한 것이었다. 따라서 그 당시 과학자들에게 아인슈타인의 광전 효과 논문은 충격에 가까운 것이었다. 더구나 아인슈타인이 말한 빛 입자, 즉 광자는 에너지만 있을 뿐 입자이면서 질량이 없다는 것이다.

광전 효과는 1900년부터 시작된 현대 물리학의 기초를 이루는 데 중요한 역할을 하여 아인슈타인은 그 공로로 1921년에 노벨상을 받았다. 즉, 아인슈타인은 우리가 잘 알고 있는 상대성 이론으로 노벨상을 받은 것이 아니라, 광전 효과로 노벨상을 받았다.

광전 효과에 의하면 금속에 자유 전자들이 있다가 그림 Ⅲ-38과 같이 빛을 비추면 알갱이와 같은 빛이 전자와 충돌하여 전자를 튕겨 내보낼 수 있다. 마치 당구공이 충돌할 때 부딪힌 당구공이 튕겨 나가는 것과 같다.

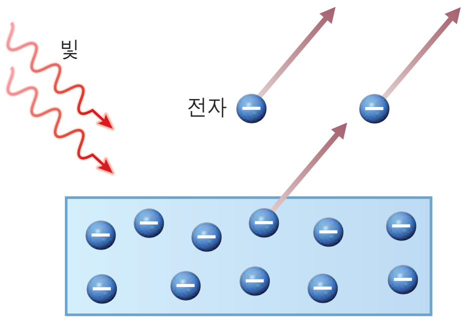


그림 Ⅲ-38 광전 효과

탐구 17 시범 관찰 **광전 효과**

- **준비물** 광전관, 검류계, 빔프로젝터
- **과 정**
  1. 광전관은 빛을 받으면 전기를 발생시킬 수 있다. 광전관 안의 둥근 판과 가운데 핀을 잘 살펴보자.
  2. 광전관에 검류계를 연결해 보자.
     ⇨ 주위를 어둡게 하였을 때 검류계에 전류가 흐르는가?
  3. 빔프로젝터로 밝은 빛을 광전관의 둥근판에 비추어 보자.
     ⇨ 검류계에 전류가 흐르는가?



빛의 에너지

빛이 가진 에너지는 진동수에 비례한다.

$E \propto f$

방전관의 둥근판에 빛을 쪼이면 둥근판 안의 전자들이 튕겨나와 핀으로 날아가게 되어, 둥근판은 (+)극이 되고, 핀은 (−)극인 전지가 된다.

이때 다음과 같이 중요한 특징이 있다.

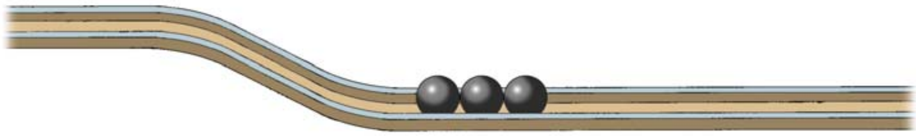
- 금속에 빛을 비추면 금속으로부터 전자가 곧바로 튀어 나올 수 있다.
- 일정한 진동수 이상의 빛을 비추어야 전자가 튀어 나올 수 있다.
- 진동수가 큰 빛을 비출수록 튀어나온 전자의 운동 에너지는 높아진다.
- 빛을 비추어 전자가 튀어나올 때 진동수는 일정하게 하고, 빛의 밝기를 증가시키면 같은 운동 에너지를 가진 전자의 개수가 증가한다.

이러한 광전 효과의 세 가지 특징을 이해하기 위해 다음 탐구와 같은 사고 실험을 해 보자.

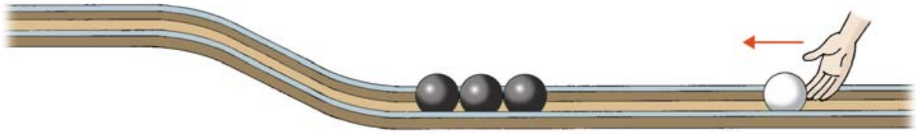
탐구 18 사고 실험 광전 효과의 비유

과 정

1. 다음 그림과 같이 레일 위에 검은색의 쇠구슬이 있다. 여기에서 검은색의 쇠구슬을 전자로 생각한다.



2. 다른 흰색의 쇠구슬로 레일 위의 검은색 쇠구슬과 충돌시켜 보자. 여기에서 흰색의 쇠구슬은 광자로 생각한다. 그리고 검은색 쇠구슬이 경사면 위로 올라간 경우를 전자가 금속에서 튕겨 나온 것으로 생각한다.

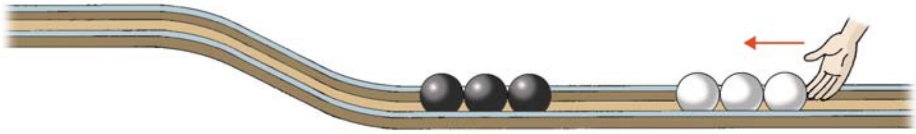


⇨ 광자의 에너지가 일정한 에너지 이상이 되어야 전자가 경사면 위로 올라갈 수 있을까?

3. 검은색 쇠구슬이 경사면 위로 올라가도록 흰색의 쇠구슬을 세게 밀어보자. 이때 흰색 쇠구슬의 에너지를 더 크게 해 보자.

⇨ 광자의 에너지가 클수록 튕겨 나온 전자의 운동 에너지가 커질까?

4. 흰색 쇠구슬 3개를 동시에 같은 속도로 충돌시켜 검은색 구슬이 경사면 위로 올라가도록 해 보자.



⇨ 몇 개의 광자가 튕겨 나올 수 있는가? 튕겨 나온 전자의 운동 에너지는 모두 같은가?

광전 효과는 탐구 18의 사고 실험과 같이 광자와 전자의 충돌로 이해할 수 있다. 이때 최소한의 광자 에너지가 필요한 까닭은 금속으로부터 전자가 벗어나는 데 에너지가 필요하기 때문이다.

예를 들어, 어떤 금속에서 전자가 벗어나기 위한 최소한의 에너지가 5라고 하자. 이러한 경우에는 4의 에너지를 가진 광자를 비춘다면 전자가 금속으로부터 튀어 나오지 못한다. 그러나 8의 에너지를 가진 광자를 비춘다면 전자가 금속으로부터 튀어 나올 수 있고, 튀어 나온 전자의 운동 에너지는 3이 된다. 왜냐하면, 광자의 에너지 8 중에서 5는 전자가 금속에서 벗어나기 위해 사용되었기 때문이다. 마찬가지로 12의 에너지를 가진 광자를 비춘다면 튀어나온 전자의 운동 에너지는 7이 될 것이다. 이때, 광자의 에너지는 진동수에 비례하고, 전자의 운동 에너지는 전압을 의미하므로 광전 효과에서는 진동수가 큰 빛을 비출수록 높은 전압이 발생하는 것이다.

만일 8의 에너지를 가진 광자 4개를 비춘다면 4개의 전자가 튀어 나올 수 있고, 각 전자의 운동 에너지는 3이 된다. 이때, 광자의 개수가 많다는 것은 밝은 빛을 의미하고, 전자의 개수가 많다는 것은 전류의 세기가 크다는 것을 의미하므로 광전 효과에서는 밝은 빛을 비추면 많은 전류가 흐르게 된다.

표 Ⅲ-3은 금속으로부터 전자를 떼어내기 위한 최소한의 에너지를 나타낸다.

위 내용을 다시 정리하면 표 Ⅲ-4와 같다.

충돌구

다음 그림과 같은 충돌구에서 추 한 개를 충돌시키면 한 개만 올라가고, 세 개를 동시에 충돌시키면 세 개가 함께 올라간다.



표 Ⅲ-3 금속으로부터 전자를 떼어내기 위한 최소한의 에너지

금속	에너지(eV)
알루미늄	4.3
구리	7.1
금	7.8
아연	6.9

전자 볼트(electron volt, eV)

음전하를 띤 전자에 1 V의 전위를 걸어 주었을 때 가지게 되는 운동 에너지로 원자와 같은 작은 세계의 에너지 크기를 정의할 때 사용한다.

• $1\,eV = 1.6 \times 10^{-19}\,J$

표 Ⅲ-4 금속에서 전자를 떼어내기 위한 최소한의 에너지가 5인 경우

금속에 비춘 광자의 에너지와 개수	금속으로 튀어나온 전자의 에너지와 개수
5보다 작은 에너지를 가진 광자	튀어나온 전자 없음
8의 에너지를 가진 광자 1개	운동 에너지가 3인 전자가 1개
12의 에너지를 가진 광자 1개(큰 진동수)	운동 에너지가 7인 전자가 1개(높은 전압)
8의 에너지를 가진 광자 4개(밝은 빛)	운동 에너지가 3인 전자가 4개(큰 전류)

광전 효과는 빛이 파동이 아니라 입자라는 것을 증명하는 중요한 현상이다. 만일 빛이 파동이라면 금속에 빛을 비추면 금속 내부의 전자가 흔들리면서 에너지를 얻게 된다. 이 과정에서 에너지를 얻은 전자가 방출되는데 시간이 걸리게 되어 있다. 그러나 실제로 광전 효과에서는 이러한 시간 지연이 관찰되지 않는다.

또 빛이 파동이라면 빛의 에너지는 빛의 밝기에 의해 결정된다. 그렇다면 밝은 빛을 쪼이면 방출된 전자의 에너지가 높아야 할 것이다. 그러나 광전 효과에서는 진동수가 같은 빛이라면 방출된 전자의 에너지는 빛의 밝기에 무관하다.

또한 빛이 파동이라면 일정한 진동수 이하의 빛을 쪼이면 금속에서 전자가 방출되지 못하는 현상도 설명할 수 없다. 이러한 이유 등으로 아인슈타인의 광전 효과 이론은 빛이 입자 성질을 갖는 알갱이라는 주장을 뒷받침하게 되었다.

탐구 19 **창의 활동** **반대로 생각하기**

준비물 빨간색 발광다이오드, 3 V 건전지, 디지털 전압계, 빔프로젝터

과 정 1. 빨간색 발광다이오드에 3 V 건전지를 연결하여 불을 켜 보자.

⇨ 반대로 발광다이오드에 빛을 비추면 발광다이오드에 전압이 발생할까?

2. 발광다이오드에 디지털 전압계를 연결하고, 발광다이오드에 밝은 빔프로젝터 빛을 비추어 보자.

⇨ 전압이 발생하는가? 그 까닭을 설명해 보자.



광전관은 빛의 신호를 이용하여 전기 신호로 바꾸는 데 유용하다. 광전관과 구조는 다르지만 원리적으로 비슷한 또 다른 장치로 태양 전지가 있다. 즉, 태양 전지도 빛 에너지를 이용하여 전기 에너지를 만드는 장치이다.

반대로 전기 에너지를 빛에너지로 전환하는 장치로는 전구나 발광다이오드 등이 있다. 만일 발광다이오드에 빛을 비추면 태양 전지와 같이 전기 에너지가 발생할 수 있을까? 다음 탐구를 통해 알아보자.

탐구 19에서와 같이 반대로 생각하는 것은 과학적 창의성에서 중요한 사고 방법 중의 하나이다. 반대로 생각함으로써 관습적인 생각으로부터 벗어날 수 있기 때문이다.

과학사

드브로이

아인슈타인이 1905년 파동인 줄 알았던 빛이 알갱이 성질을 가지고 있다는 광전 효과 이론을 발표한 후, 이것을 반대로 생각한 사람은 프랑스의 물리학자 드브로이였다. 그는 1923년 알갱이인 줄 알았던 전자가 파동적인 성질을 가지고 있다고 생각하게 되었고, 그의 생각을 1924년 박사 학위 논문으로 발표하였다. 그의 논문은 그 당시 사람들에게 너무 새로워서 학위를 줄 것인지에 대해 고민하였다고 한다. 그래서 그의 논문은 아인슈타인에게 보내졌고, 아인슈타인이 극찬을 아끼지 않자, 학위를 주기로 하였다고 한다. 물질도 파동적인 성질을 가진다는 이론으로 드브로이는 6년 후인 1929년 노벨상을 받았다.



드브로이(de Broglie, L. V. P.; 1892~1987)

과학과
생활

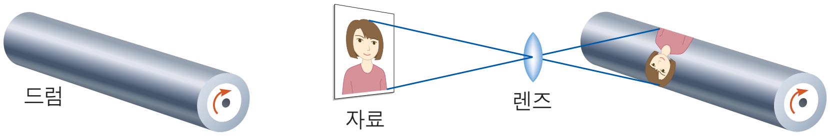
광전 효과와 복사기



복사기에서는 복사하려는 자료를 투명한 유리판 위에 올려놓고 복사 버튼을 누르면 유리판 내부에서 밝은 불빛이 천천히 자료를 지나간다. 자료의 검은 글씨 부분은 빛을 흡수하고, 흰 부분은 빛을 반사한다. 원고에서 반사된 빛은 렌즈로 모여 회전하는 원통 모양의 알루미늄 드럼 위에 초점이 맺힌다.

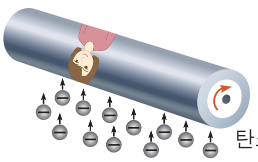
이 알루미늄 드럼의 표면에는 반도체인 셀레늄(Se)이 얇게 발라져 있다. 셀레늄 반도체는 태양 전지에 쓰이는 것으로서, 빛을 비추면 광전 효과에 의해 자유 전자가 생겨 저항이 감소한다.

초기 상태의 알루미늄 드럼은 (+)전하로 대전되었는데, 이때 빛이 알루미늄 드럼 위에 쪼이면 저항이 낮아지면서 (+)전하들이 흘러가 버린다. 따라서 빛이 쪼이지 않은 글자 부분에만 (+)전하가 남아 있게 된다.

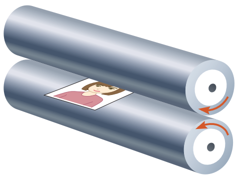


(+)전하로 대전시켜 놓는다.

이 상태에서 토너 가루를 (−)전하로 대전시켜 드럼 위에 뿌리면, 빛을 쪼이지 않은 글씨 부분에만 토너 가루가 달라붙게 된다. 이 종이를 뜨거운 열처리를 하게 되면, 토너 가루가 종이에 녹아 붙으면서 복사가 된다.



(+)전하가 남아 있는 부분에
음으로 대전한 토너가 붙는다.



토너가 붙은 종이를 열롤러에
걸면 토너는 종이에 붙는다.

2. 태양 전지와 광센서

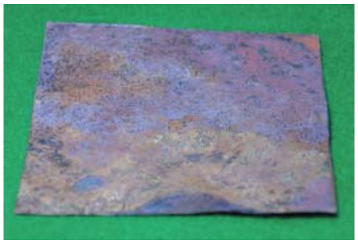
빛을 쪼이면 전압이 발생하는 대표적인 장치 중 하나가 태양 전지이다. 보통 태양 전지는 반도체로 만들고, 최근에는 염료를 이용하여 만들기도 하지만 다음 탐구에서는 간단하게 구리판을 이용하여 태양 전지를 직접 만들어 보고 빛의 밝기에 따라 전압이 어떻게 변화하는지 알아보자.

탐구 20 해 보기 **태양 전지 만들기**

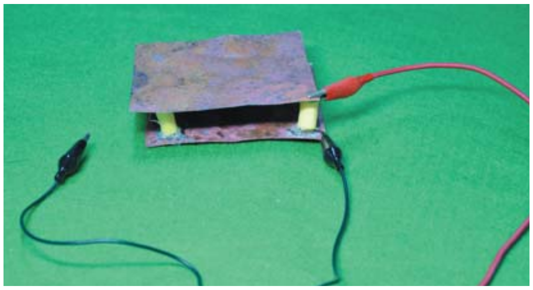
준비물 구리판(15×15 cm) 2장, 가스 토치, 집게 도선, 수수깡, 디지털 전압계 또는 검류계, 사각 수조, 소금물

과 정

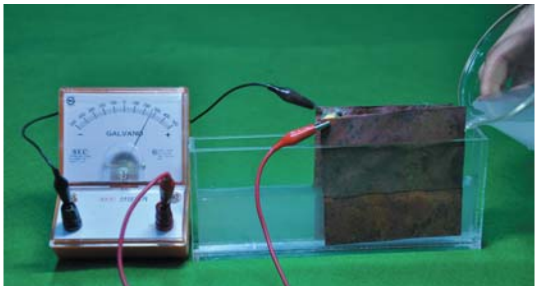
1. 구리판을 가스 토치 불꽃으로 가열하면 오른쪽 그림과 같이 까맣게 변한다. 이렇게 까맣게 변한 것은 구리가 산화되어 만들어진 산화구리(Ⅱ)(CuO)이다.



2. 까맣게 변한 것을 식기 전에 찬물에 넣으면 까만 부분이 떨어지고, 구리판에 붉은 부분만 남게 된다. 이렇게 붉게 변한 것은 산소가 부족한 상태에서 산화된 산화구리(Ⅰ)(Cu_2O)이다.
3. 다음 그림 (가)와 같이 Cu_2O판과 구리판 사이를 1 cm 정도의 수수깡을 넣고, 그림 (나)와 같이 각 판에 전선을 연결한 다음 투명 사각 수조에 넣는다.



(가)



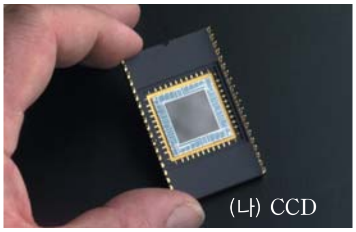
(나)

4. 사각 수조에 소금물을 넣으면 Cu_2O가 (+)극이고 구리판이 (−)극인 태양 전지가 된다.
5. 전선을 디지털 전압계에 연결하고 태양 전지에 빛을 비추어 보자.
   ⇨ 빛을 비추면 태양 전지에서 전압이 발생되는가?
6. 태양 전지를 어두운 곳과 밝은 곳으로 옮겨 보자.
   ⇨ 태양 전지에서 발생되는 전압이 변화하는가?
7. 간단하지만, 구리판으로 만든 태양 전지를 이용하여 여러 가지 탐구를 할 수 있다.
   ⇨ 구리판으로 만든 태양 전지로 탐구할 만한 탐구 문제들을 제안해 보자. 예를 들면, "소금물이 담긴 깊이에 따른 전압의 차이를 알아보자."라는 탐구 문제를 제안할 수도 있다.

태양 전지 외에도 빛에너지를 전기 에너지로 전환시켜 주는 장치는 다양하다. 예를 들면, 그림 Ⅲ-39의 (가)와 같이 디지털 카메라 속에 필름 대신에 빛에너지를 전기 에너지로 바꾸어 주는 장치로 그림 (나)와 같은 CCD(charge-coupled device)가 있다.

CCD는 일반 필름보다 감도가 약 100배 이상 높기 때문에 어두운 장면도 쉽게 찍을 수 있고, 가시광선뿐 아니라 적외선 등도 감지할 수 있어 그 용도가 매우 다양하다. 또 그림 (다)와 같은 광센서도 빛을 감지하는 데 많이 사용된다.





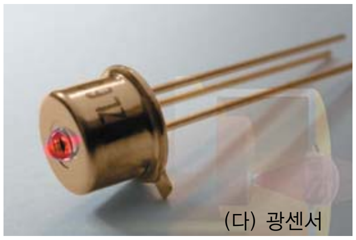


그림 Ⅲ-39 CCD와 광센서

3. 광합성과 태양 전지

광합성은 그림 Ⅲ-40과 같이 식물의 엽록소에서 빛에너지를 이용하여 이산화탄소와 물을 포도당과 산소로 변환시키는 과정을 의미한다.

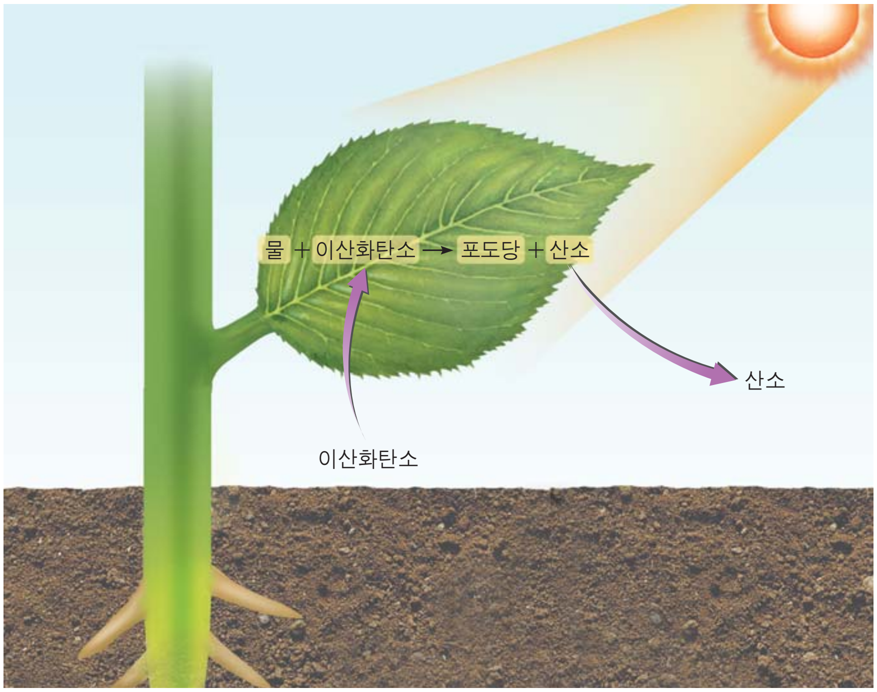


그림 Ⅲ-40 식물 잎에서의 광합성 과정

즉, 빛에너지를 이용하여 물을 분해하여 전자를 방출하도록 하고, 이때 만들어진 산소는 잎의 기공을 통해 배출하게 된다.

그리고 엽록소에서도 빛을 흡수하여 에너지가 높아진 전자를 방출하는데, 이러한 전자들을 이용하여 포도당을 만드는 데 필요한 에너지를 얻는 것이다.

루드로우(Ludlow)의 실험은 The Physics Teacher 20권 230호에서 찾아볼 수 있다.

이러한 과정은 빛에너지를 흡수한 전자에 의해 일어나므로 광전관에서 빛에너지를 흡수하여 전자가 튀어나오는 과정이나 반도체로 만들어진 태양 전지에서 빛에너지를 흡수하여 전자가 나오는 과정은 본질적으로 같다.

더구나 지구에서는 이러한 광합성을 통해 연간 약 1.25×10^{24} J의 태양 에너지를 화학 에너지로 전환한다. 따라서 과학자들은 식물의 엽록소를 이용한 태양 전지를 만들어 보려는 노력을 해왔다. 예를 들면, 루드로우는 얇은 투명 전극 사이에 엽록소를 넣은 후 빛을 비추어 그림 Ⅲ-41과 같이 약 1.5 V에서 4.5 V까지 전압이 형성되는 실험을 하기도 하였다.

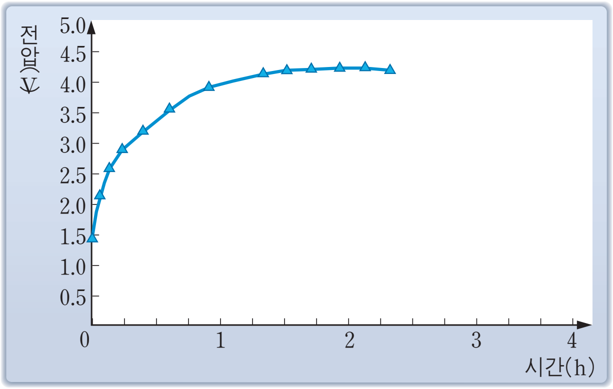


그림 Ⅲ-41 엽록소로 만든 태양 전지의 전압

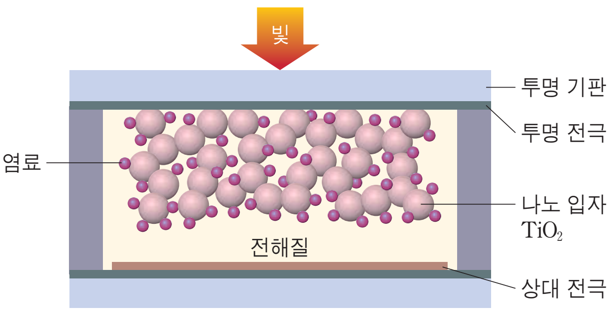


그림 Ⅲ-42 염료 감응 태양 전지의 내부 구조

또 최근에는 엽록소 대신에 다른 염료를 이용한 염료 감응 태양 전지도 개발하고 있다. 염료 감응 태양 전지는 1991년 스위스 연방 기술원의 마이클 그랏젤(Gratzel) 교수가 개발하였다. 이러한 염료로는 홍차, 블랙베리, 양파 껍질에서 나오는 염료 등도 사용될 수 있다.

그림 Ⅲ-42는 염료 감응 태양 전지의 구조를 나타내고 있다. 염료 감응 태양 전지의 위는 태양빛이 통과하도록 전기가 흐르는 전도성 유리로 된 투명 전극이 있고 반대편에는 상대 전극이 있다. 그 사이에는 표면에 염료가 부착된 이산화타이타늄(TiO_2) 나노 입자와 전해질이 들어 있다.

염료 감응 태양 전지에서는 염료가 빛에너지를 흡수하여 전자를 방출한다. 방출된 전자는 TiO_2로 이동한 후 투명 전극으로 이동하여 쌓이게 된다. 즉, 투명 전극이 (−)극인 전지가 되는 것이다. 이 과정에서 TiO_2를 이용하는 까닭은 염료에서 방출된 전자를 쉽게 TiO_2로 이동할 수 있기 때문이고, TiO_2를 나노 입자로 하는 까닭은 표면적을 넓게 함으로서 많은 전자가 발생되도록 하기 위해서이다.

염료 감응 태양 전지는 나노 기술이 발달하면서 값싼 염료를 이용하여 저렴하게 만들 수 있게 되었다. 그 때문에 반도체 태양 전지에 비해 제조 단가를 $\frac{1}{3}$에서 최대 $\frac{1}{5}$ 수준으로 낮출 수 있다고 한다. 또한 구부러질 수도 있고, 투명하여 유리창에도 적용할 수 있어 활용도 면에서도 장점을 가지고 있다.

그러나 아직 해결해야 할 과제들도 남아있다. 아직 효율이 낮아 활용성이 떨어진다는 점과 액체 염료의 경우 휘발성이 있어 수명이 짧다는 단점이 있다.

6 색채 인식

학습 목표

1. 빛의 삼원색으로 다른 색의 빛을 합성하는 과정을 설명할 수 있다.
2. 영상 장치에서 수백만 가지의 다양한 색을 구현하는 원리를 설명할 수 있다.
3. 우리의 눈에서 빛의 색을 감지하는 과정을 설명할 수 있다.



1. 빛의 3원색

무지개 빛은 보통 빨강, 주황, 노랑, 초록, 파랑, 남청, 보라 7가지로 알려져 있다. 다음 탐구를 통해 간단히 무지개를 관찰해 보자.

시범 21 시범 관찰 무지개 관찰

- **준비물** OHP, 투명 사각 수조
- **과 정**
  1. OHP를 준비하고, 투명 사각 수조를 준비한다.
  2. 수조에 물을 넣고 그대로 OHP 위에 놓는다. 이때 OHP 위의 렌즈로 빛이 통과하지 않도록 렌즈는 두꺼운 종이로 가린다. 즉 OHP에서 나온 빛이 수조 안의 물에서 직접 굴절될 수 있도록 한다.

  ⇨ 무지개가 보이는가?

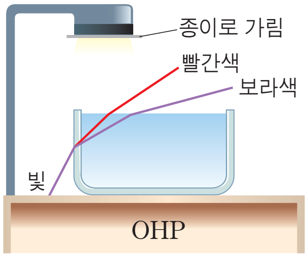




표 Ⅲ-5와 같이 빛의 색은 파장으로 나눌 수 있다. 즉, 파장이 짧을수록 보라색이 되고, 파장이 길수록 주황색이나 빨간색이 된다. 또한 빛의 속도 $v=f\lambda$이고, 진공 중에서 빛의 속도 v가 30만 km/s이므로 진동수 f를 알면 파장 λ를 구할 수 있다. 따라서 빛의 색을 파장으로 나타내기도 한다.

빛의 색은 무지개의 7가지 색만 있는 것은 아니다.

자연에는 다양한 색의 빛이 있는데, 이렇게 많은 색의 빛을 단지 3가지 색의 빛만으로 만들 수가 있다. 그것이 바로 빨강, 초록, 파랑이고, 이것을 빛의 3원색이라고 한다.

표 Ⅲ-5 빛의 색에 따른 파장과 진동수

색상	파장(nm)	진동수(THz)
(빨강)	780～622	384～482
(주황)	622～597	482～503
(노랑)	597～577	503～520
(초록)	577～492	520～610
(파랑)	492～455	610～659
(보라)	455～390	659～769

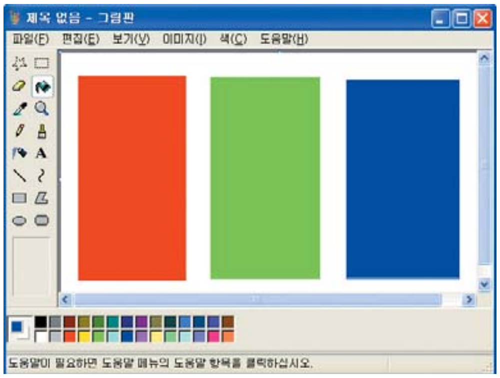
- 1 nm $=10^{-9}$ m
- 1 THz $=1\times10^{12}$ Hz

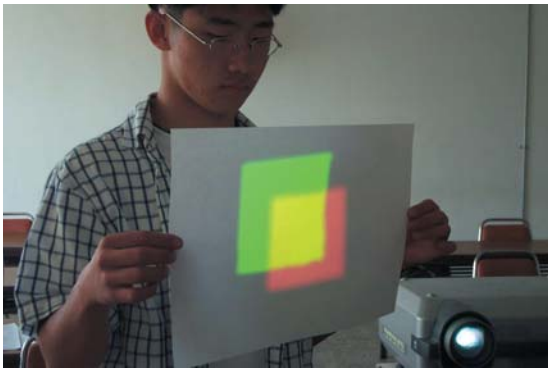
탐구 22 시범 실험 빛의 합성

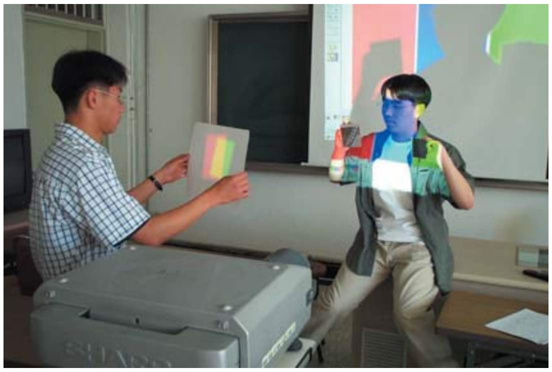
준비물 빔프로젝터, 컴퓨터, 거울

과 정

1. 빔프로젝터를 컴퓨터에 연결한다.
2. 컴퓨터에 있는 기본 프로그램 중의 하나인, '그림판'을 열고 오른쪽 그림과 같이 사각형 3개를 만든 다음 각각을 R(빨강: Red), G(초록: Green), B(파랑: Blue)로 채워 넣자.
3. 스크린 앞에서 거울을 들고 R과 G색을 반사시켜 서로 겹쳐보자.
   ⇨ 노란색이 되는가?
4. 이번에는 R과 B, G와 B, 그리고 R, G, B를 서로 겹쳐보자.
   ⇨ 어떤 색들이 나오는가?







탐구 22에서 볼 수 있듯이 그림 Ⅲ-43의 RGB 3가지 색으로 만들 수 있는 또 다른 색 4가지를 정리하면 다음과 같다.

- 빨강(R)+초록(G)=노랑(Yellow)
- 빨강(R)+파랑(B)=자홍 (Magenta)
- 파랑(B)+초록(G)=청록 (Cyan)
- 빨강(R)+초록(G)+파랑(B)=흰색

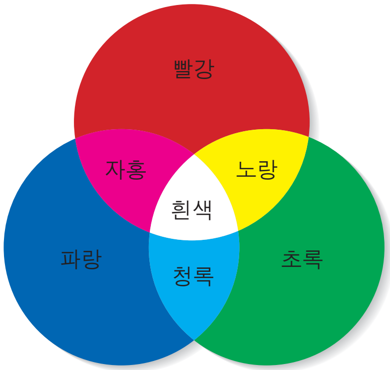


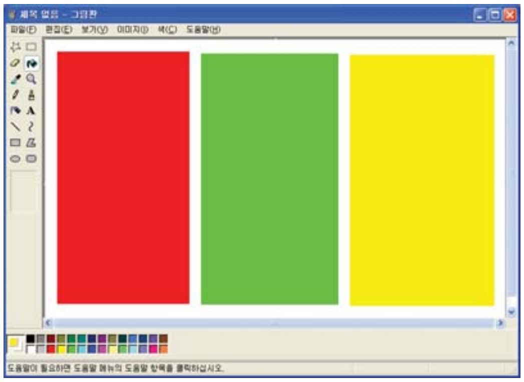
그림 Ⅲ-43 RGB의 합성

노란색에는 두 가지 종류가 있다. 파장이 580 nm인 노란색은 하나의 파장으로 만들어진 노란색이다. 그러나 빨간색과 초록색을 겹쳐서 만든 노란색은 노란색으로 보일뿐 하나의 파장만을 가진 노란색이 아니다. 우리 눈에서 노란색으로 느끼는 것 뿐이다.

탐구 23 시범 실험 **두 가지 노란색**

준비물 빔프로젝터, 컴퓨터, 거울, 빨간색 다이크로닉 필터

과 정



1. 탐구 22의 과정 1, 2처럼 오른쪽 그림과 같이 사각형 3개를 만든 다음 각각을 빨간색, 초록색, 노란색으로 채워 넣자.
2. 스크린 빨간색 빛과 초록 빛을 반사시켜 서로 합치면 노란색 빛이 된다.
   ⇨ 노란색은 표 Ⅲ-4에서 보았던 파장이 580 nm인 노란색과 같은 노란색일까?
3. 빨간색 다이크로닉 필터를 준비하자. 빨간색 필터는 빨간색만 통과시킬 수 있는 필터이다.
4. 빔프로젝터로 빨간색, 초록색, 노란색을 만들어 비추고, 각각의 색 앞에 필터를 놓아보자.
   ⇨ 빨간색 빛이 빨간색 필터를 통과하는가?
   ⇨ 초록색 빛이 빨간색 필터를 통과하는가?
   ⇨ 노란색 빛이 빨간색 필터를 통과하는가?
   ⇨ 만일 표 Ⅲ-5에서 제시되었던 파장이 580 nm인 노란색 앞에 빨간색 필터를 놓는다면, 그 노란색은 빨간색 필터를 통과할 수 있을까?

예를 들어, 그림 Ⅲ-44와 같이 헬륨 선스펙트럼에서는 특정한 하나의 진동수만을 가진 노란색(진동수 518.5 THz)이 나오는데, 이것은 빨간색과 초록색이 겹쳐져서 만든 노란색과 다르다. 단지, 우리 눈에서 두 가지 노란색을 구별하지 못하는 것 뿐이다.

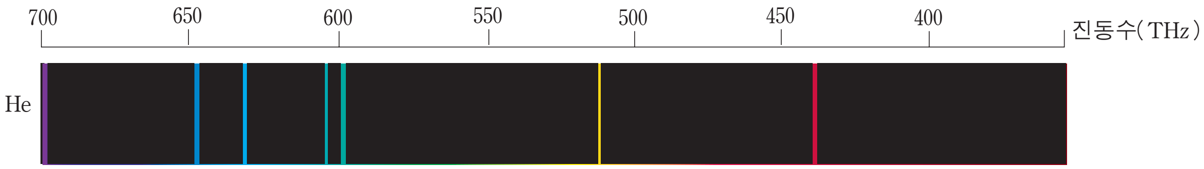


그림 Ⅲ-44 헬륨 기체의 선스펙트럼

2. 영상 장치에서의 색의 구현

RGB 3가지 색의 빛으로 청록, 자홍, 노랑과 같은 다른 색의 빛을 만들 수 있음을 알 수 있었다.

그러면 TV나 모니터, 빔프로젝터와 같은 영상 장치는 어떻게 이 3가지 색을 합치는 것일까?

다음 탐구를 이를 통해 알아보자.

다이크로닉 필터(Dichronic filter, 이색성 필터)
특수한 물질로 코팅된 필터로 간섭 현상을 이용하여 특정 영역 파장의 빛은 투과시키고 나머지 영역 빛은 높은 효율로 반사시키는 기능을 지닌 필름이다.

탐구 24 시범 관찰 **모니터 관찰하기**

- **준비물** 배율 10～20배의 현미경 접안렌즈, 컴퓨터에 연결된 모니터
- **과 정**
  1. 컴퓨터 프로그램의 '그림판'에서 노란색을 만든다.
  2. 현미경 접안렌즈를 사용하여 모니터의 노란색 부분을 크게 확대하여 보자.
     ⇨ 어떤 색이 보이는가?
  3. 마찬가지로 그림판에서 흰색을 만든 다음에 렌즈로 확대해 보자.
     ⇨ 어떤 색이 보이는가?

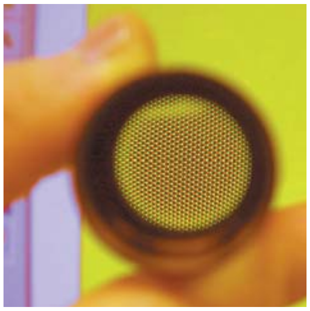




그림 Ⅲ-45 컴퓨터에서의 색 편집

컴퓨터 모니터의 구조는 기본적으로 RGB의 색만을 내도록 되어 있다. 그런데 빨간색 빛과 초록색 빛만 켜지면, 이들 두 빛이 겹치면서 우리 눈에 노랗게 보이는 것이다.

그런데 모니터에서는 수만 가지의 다른 색을 나타낼 수 있다. 이러한 색은 어떻게 만들 수 있을까?

RGB의 색을 합칠 때, 각각의 색의 밝기를 다르게 합치는 것이다. 예를 들어, R와 G을 가장 밝게 켜서 겹치면 노란색이 나온다. 그러나 R는 밝게 하고 G을 좀 어둡게 켜면 주황색이 나온다. 또 그림 Ⅲ-45를 보면, 빨간색을 가장 밝게 켜고, 녹색은 절반 정도의 밝기로 켜고, 파랑은 꺼서 주황색을 만든 경우이다.

컴퓨터에서의 색 밝기 조절

컴퓨터에서 R, G, B 각각의 밝기를 0부터 255까지 256 단계로 조절할 수 있다.
그림 Ⅲ-45에서는 빨강(R)이 255로 가장 밝게 켜져 있고, 초록(G)이 123으로 중간 정도 밝기로 켜져 있고, 파랑(B)은 0인 상태이다.

물음 9. 어떤 빛의 파장이 500 nm일 때 다음 물음에 답하여라.

(1) 이 빛의 진동수는 몇 Hz인가?
(2) 이 빛은 어떤 색일까?

3. 눈에서의 색의 인식

빨간색 빛과 초록색 빛을 합성하여 노란색 빛으로 되는 것은 실제로 진짜 노란색이 되는 것이 아니라, 우리 눈이 '노란색'으로 인지하는 것 뿐이다.

우리 눈에서는 어떻게 색을 인식하는 것일까?

그림 Ⅲ-46과 같이 우리 눈의 신경에는 명암을 감지하는 막대 세포(원통 모양)와 빛의 색을 감지하는 원뿔 세포(긴 원뿔 모양)가 있다. 막대 세포의 수는 약 1억 2천만 개이고, 원뿔 세포의 수는 약 650만 개이다.

빛에 대한 감도는 막대 세포가 원뿔 세포보다 훨씬 더 뛰어나다. 따라서 막대 세포는 주로 어두운 곳에서 잘 작동한다. 그러나 원뿔 세포는 감도가 떨어져서 색을 잘 구별하지 못한다. 그래서 어두운 극장 안에서는 사람의 옷 색깔을 잘 구별하지 못하게 된다.

그러나 오히려 밝아지면 시신경에서 신호를 전달하는 로돕신이라는 물질을 차단하여 막대 세포가 작동하지 않게 되고, 그때부터는 원뿔 세포가 작동하게 된다. 빛의 색을 감지하는 원뿔 세포에는 3가지가 있는데, 각각은 빨간색 빛을 감지하는 R 원뿔 세포, 초록색 빛을 감지하는 G 원뿔 세포, 그리고 파란색 빛을 감지하는 B 원뿔 세포이다. 각각의 세포가 감지하는 빛의 파장대는 그림 Ⅲ-47과 같다.

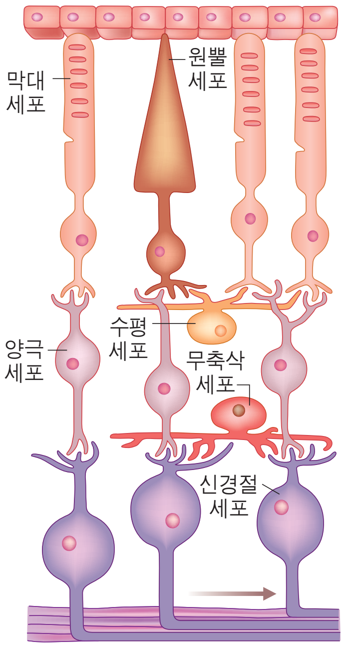


그림 Ⅲ-46 시신경

사람은 이렇게 3가지 원뿔 세포만으로도 700만 개의 색을 구별하여 인식할 수 있다고 한다. 그러나 색을 다 똑같이 감지하는 것은 아니고 특별히 더 잘 감지하는 색이 있는데, 그것은 555 nm의 녹색 계열의 빛으로 알려져 있다.

빛의 색에 대한 체계적인 관심은 뉴턴에서부터 시작되었다. 뉴턴은 1666년 프리즘으로 만든 무지개색의 빛을 다시 합쳐 백색광이 나온다는 것을 발견하였다. 그러나 뉴턴은 우리 눈에 매우 많은 감각 기관들이 있어 각각의 감각 기관들이 각각의 색들을 감지한다고 생각하였다.

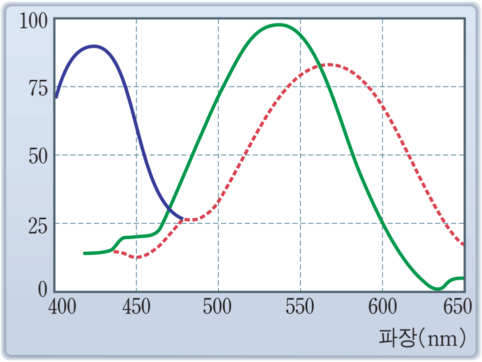


그림 Ⅲ-47 RGB 원뿔 세포의 상대적 감지 능력

1801년 토마스 영은 RGB의 빛으로 다양한 색을 만들 수 있다고 제안하였고, 우리 눈에서 3가지 색을 감지하는 감각 기관이 있다고 제안하였다. 그 후에 헬름홀츠는 영의 가설을 받아들여 빛의 3원색 이론을 주장하였다. 그 후 오랜 시간이 지나 1964년 존스 홉킨스 대학과 하버드 대학의 연구원들은 그래프와 같이 우리 눈의 감각 기관에서 3가지 색을 받아들인다는 실험 결과를 얻었다.

물음 10. 빛의 색에 대한 위의 설명을 정리해 보자.

(1) 막대 세포와 원뿔 세포의 모양과 수, 빛에 대한 감지 정도, 밝을 때와 어두울 때의 작용에 대해서 정리하라.

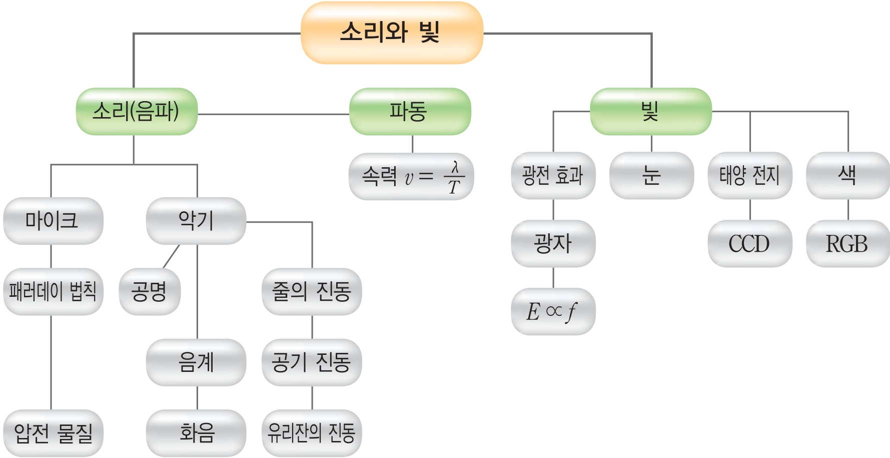
(2) 원뿔 세포에는 몇 가지 종류가 있을까? 또 원뿔 세포에서는 어떻게 노란색을 인지할까?

(3) 우리 눈이 감지할 수 있는 색의 수는? 가장 잘 감지하는 색은 무엇일까?

연구 10. 귀에서는 ‘도’음과 ‘미’음을 함께 들려주면 ‘레’음으로 인식할까? 귀에서의 소리 인식과 눈에서의 색 인식에서의 차이점을 알아보자.

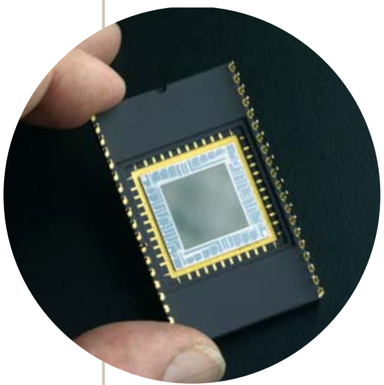
01 소리와 빛
중단원 마무리

한눈에 보기



되짚어 보기

- 소리는 다른 파동과 마찬가지로 반사, 굴절, 회절한다.
- 초음파의 진동수는 2만 Hz 이상이다.
- 높은 소리일수록 진동수가 크고, 파장은 짧다.
- 줄의 진동에서 줄의 길이가 짧고 가늘수록, 줄의 장력이 클수록 높은 소리가 난다.
- 악기에서 소리가 날 때 배와 마디로 구성된 정상파가 발생하고, 공명에 의해 소리가 커진다.
- 파동이 중첩되면 보강 간섭, 또는 소멸 간섭한다.
- 악기에서 소리의 높이가 한 옥타브 차이가 나면 진동수는 2배 차이가 난다.
- 여러 음계의 진동수 비가 간단한 정수비를 이루면 화음이 된다.
- 패러데이 법칙을 이용하여 만들어진 마이크는 코일과 자석으로 만들어져 있다.
- 광전 효과는 빛의 입자설로 설명할 수 있다.
- 합성된 노란색 빛은 다시 빨간색 빛과 녹색 빛으로 나눌 수 있다.
- 빛의 여러 가지 색은 빨간색, 녹색, 파란색의 혼합으로 만들 수 있다.

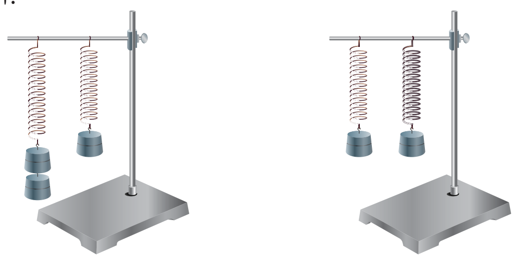


| 주 요 용 어 |

파장
진동수
소리의 속력
반사
굴절
회절
초음파
고막
정상파
공명
음계
화음
패러데이 법칙
압전 물질
광전 효과
태양 전지
CCD
RGB
원뿔 세포
막대 세포

확인하기

1 스프링에 매달린 물체의 진동을 이용하여 (1)과 (2)의 경우에 소리의 속력이 어떻게 다른지 설명하라.



(1) 이산화탄소 기체보다 헬륨 기체에서 소리의 속력이 더 빠르다.

(2) 소리의 속력은 기체보다 액체, 그리고 액체보다 고체에서 더 빠르다.

2 다음은 기타 줄이 진동할 때 소리의 높낮이에 대한 설명이다. 옳은 것을 모두 고르면?

① 줄의 진동수가 클수록 높은 소리가 난다.

② 줄이 짧을수록 줄의 진동수가 커서 높은 소리가 난다.

③ 줄이 굵을수록 관성이 작아져서 줄의 진동이 빨리 일어난다.

④ 줄의 장력이 커질수록 줄에 작용하는 복원력이 커서 진동이 빨리 일어난다.

3 '라' 음의 진동수는 220 Hz이다. '라' 음보다 3음계 높은 '도' 음의 진동수는 얼마인가? 단, 각 음계 사이의 진동수는 $\sqrt[12]{2}$= 약 1.06배 차이가 난다.

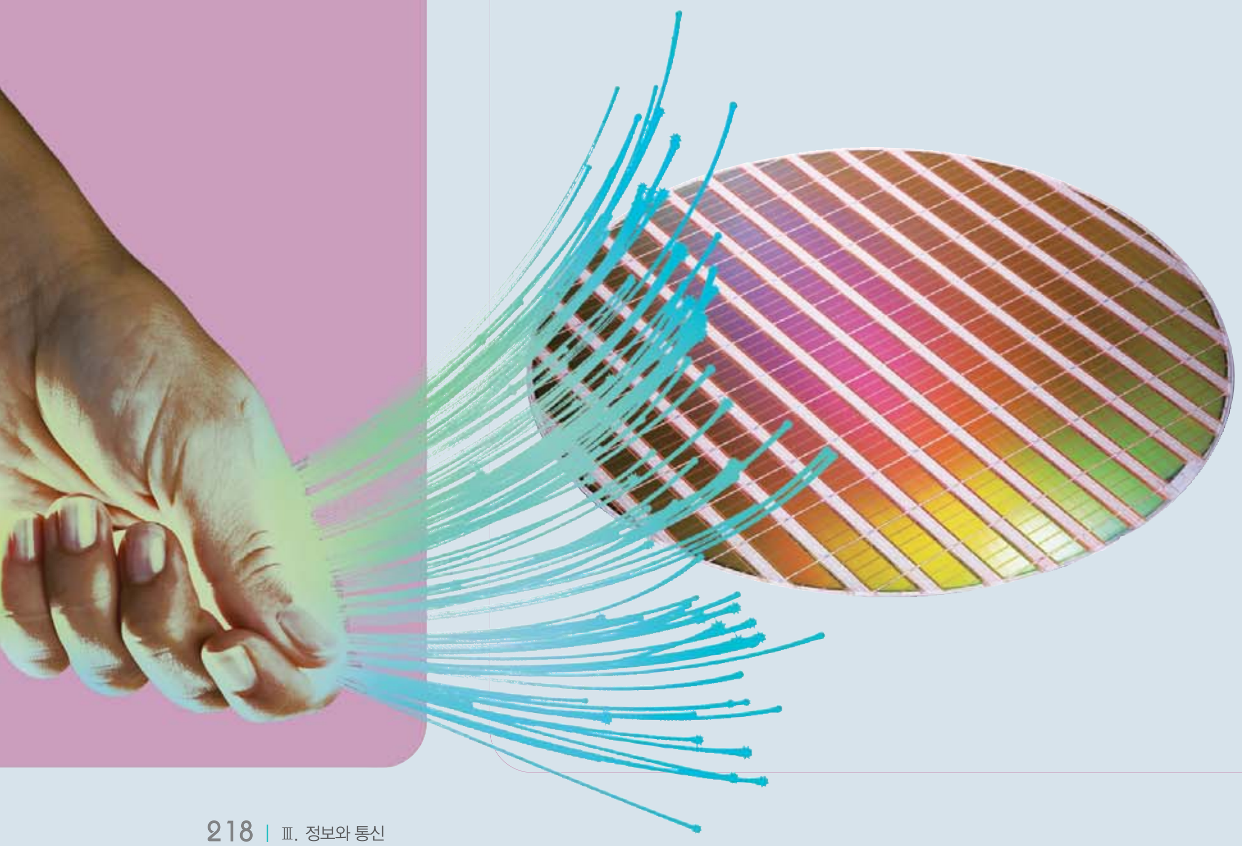
4 스피커에서 전기 신호를 음성 신호로 바꾸는 원리와 함께 마이크로도 사용할 수 있는 원리를 각각 설명하라.

5 다음은 광전 효과에 대한 설명이다. 괄호 안에 알맞은 말을 써라.

> 빛을 금속에 쪼이면 금속으로부터 ((1))가 튀어나오는 현상을 광전 효과라고 한다. 이때 ((2))가 금속으로부터 튀어나오기 위해서는 최소한의 에너지가 필요하다. 광전 효과는 빛을 알갱이, 즉 광자라고 가정했을 때 설명할 수 있다. 광자의 에너지는 빛의 ((3))에 비례하므로 빨간색보다 파란색의 에너지가 높다. 따라서 금속으로부터 튀어나온 ((4))의 운동 에너지는 진동수가 높은 빛을 쪼일 때 더 커진다. 광자의 ((5))는 빛의 밝기에 해당하므로 밝은 빛을 쪼이면 ((6))의 운동 에너지가 높아지는 것이 아니라 ((7))의 개수가 증가한다.

6 RGB 화소로 구성된 모니터에서 여러 가지 색을 구현하는 방법을 간단히 설명하라.

2 정보의 전달과 저장







봉수대는 멀리서도 잘 보이는 산봉우리에 봉수를 올릴 수 있도록 만들어 놓은 곳이다. 봉수는 변방에서 위급한 상황을 중앙에 긴급하게 알릴 때 사용되었던 통신 수단이었다.

밤에는 불을 피워서 알리는 봉(烽), 낮에는 연기를 피워 알리는 수(燧)를 사용하였다. 봉수대는 삼국시대에도 사용되었다는 기록이 남아 있으며, 고려 때는 상황에 따라 봉수의 개수를 달리하여 올리는 봉수제도가 제도적으로 운영되었다.

봉수제도를 확립한 왕은 세종으로 관계 규칙과 봉수선로, 거화법 및 봉화군(烽火軍) 근무 수칙을 정비하였다. 조선 초기에 전국적인 봉수 조직이 편성되었음에도 불구하고, 봉화군의 힘든 업무, 근무 태만, 보급 부족과 비, 구름, 안개 등의 기상 상태로 말미암아 판단 곤란 및 중도 단절 등으로 봉수대 운영이 여의치가 않았다. 따라서 숙종 이후에는 봉수와 파발을 함께 운영하였다.

봉수의 신호 방식은 평시에는 아무 일도 없다는 의미로 1개의 홰를, 적이 나타나면 2홰, 경계에 접근하면 3홰, 경계를 범하면 4홰, 접전하면 5홰를 올렸다.

봉수대는 근대의 통신 시설인 전화기가 설치된 1894년 이전까지는 백성들의 생업 안정에도 중요한 몫을 담당하였다.

현재 남아 있는 봉수대는 지방 기념물로 지정하여 각 도·시에서 보호하고 있다. 봉수대의 위치가 오늘날의 방송국 중계소의 위치와 대부분 일치하는 것은 우리나라 봉수대의 과학성을 입증하는 것이다. 봉수는 오늘날과 같은 유무선 통신 수단을 활용할 수 없었던 시대에 사용한 매우 우수한 통신 수단의 하나였다.



남산 봉수대

생각 열기

오늘날 정보를 전달하는 방법으로는 어떤 것이 있을까?



1 전자기파의 종류와 특성

학습 목표

1. 전자기파의 주요 특징을 설명할 수 있다.
2. 파장과 진동수에 따라 전자기파를 구분할 수 있다.
3. 전자기파의 종류별 쓰임새를 말할 수 있다.

우리는 생활 속에서 전자기파를 매우 일상적으로 사용하고 있다. 아마 가장 친근한 전자기파는 휴대 전화나 컴퓨터 무선 랜에서 사용하는 전파라고 생각할 것이다. 그러나 더 친숙한 전자기파는 바로 빛이다.

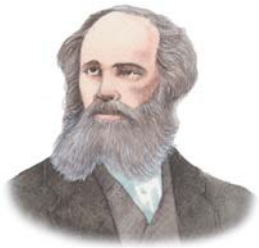
전자기파에는 이러한 전파나 빛 이외에도 X선이나 전자레인지에서 사용되는 마이크로파 등 여러 가지 다른 종류가 있다.

여기에서는 전자기파의 일반적인 성질을 살펴보고, 여러 가지 전자기파가 우리 생활 속에서 어떻게 활용되는지 알아볼 것이다.

1. 전자기파의 특징

1864년 맥스웰은 전기장과 자기장이 시간에 따라 공간을 퍼져 나가는 전자기파에 대한 수학적인 방정식을 완성하였다. 전자기파는 그림 Ⅲ-48과 같이 전기장과 자기장이 서로 수직을 이루고 있고, 전기장과 자기장이 각각 시간에 따라 변하면서 퍼져 나가는 파동이다.

맥스웰은 자신이 만든 전자기파에 대한 방정식에서 중요한 특징을 한 가지 발견하였다. 즉 방정식으로부터 전자기파의 속력을 구해 보았더니 빛의 속도와 같은 30만 km/s이었던 것이다. 이 발견으로부터 전자기파가 빛과 동일한 것임을 주장할 수 있었다. 또한, 전자기파는 전기장과 자기장이 전자기파의 진행 방향과 수직으로 진동하므로 횡파이다. 이때 전자기파는 매질이 없이 진행하는 파동이라는 점에서 다른 파동과 다른 독특한 특징을 가지고 있다.



맥스웰(Maxwell, J. C.; 1831~1879)

영국의 물리학자. 전자기 현상에 대한 여러 가지 법칙을 하나의 방정식으로 완성하였다. 저서에 "전자기학"이 있다.

전자기파의 방출

http://scienceall.com에서 '이동준의 JAVA 실험실'의 '전자기파의 방출'을 선택하여 가상 실험을 통해 전자기파의 특징을 알아본다.

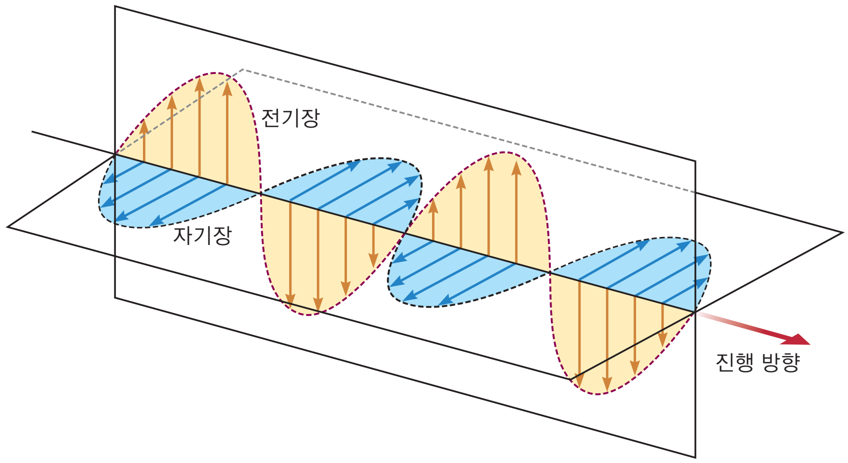


그림 Ⅲ-48 전기장과 자기장으로 이루어진 전자기파의 진행

2. 파장과 진동수에 따른 전자기파의 구분

우리가 흔히 말하는 가시광선은 파장이 380～770 nm 또는 진동수 7.9×10^{14}～3.9×10^{14} Hz인 전자기파이다. 그림 Ⅲ-49와 같이 가시광선보다 파장이 짧은 것을 자외선이라 하고, 그보다 더 파장이 짧은 것은 X선, 감마(γ)선 등으로 구분한다.

또 가시광선보다 파장이 긴 것을 적외선이라 하고, 그보다 파장이 더 긴 것을 마이크로파, TV파(극초단파, 초단파), 라디오파(종파, 단파) 등으로 구분한다.

SI 접두어

1 nm는 1×10^{-9} m에 해당한다. 10^{14} Hz는 10^{8} MHz, 또는 10^{5} GHz, 또는 100 THz에 해당한다.

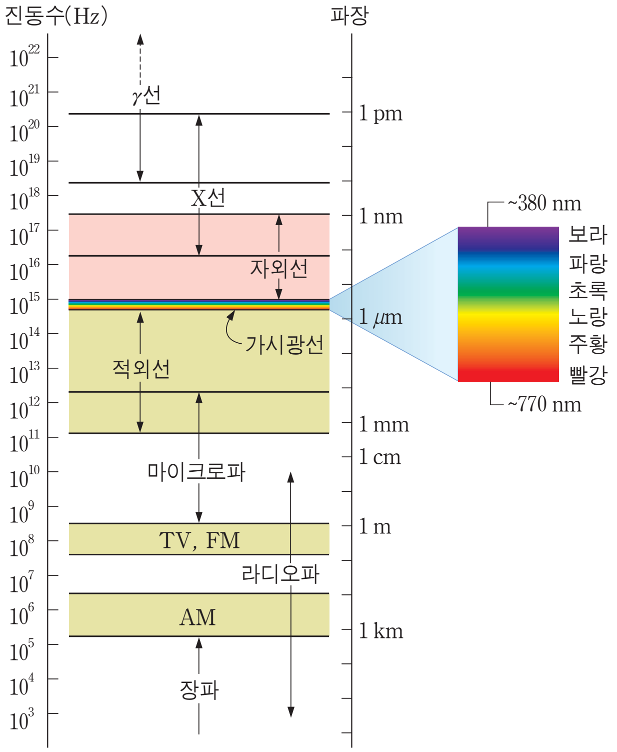


그림 Ⅲ-49 파장에 따른 전자기파의 구분

3. 자외선

전자기파의 에너지는 진동수에 따라 다르므로 진동수가 클수록 에너지가 크다. 따라서 가시광선은 우리 눈의 시신경을 자극할 정도의 에너지를 가지고 있지만, 자외선은 사람의 피부를 그을리게 하거나 피부 속에서 비타민 D를 만들 정도로 에너지가 크다. 또 자외선은 미생물을 파괴시킬 수도 있으므로 그림 Ⅲ-50과 같이 자외선을 이용한 살균기도 있다.

일반적으로 자외선이 몸에 이롭기도 하지만, 강한 자외선으로부터 눈을 보호하기 위해 자외선 차단 색안경을 사용하고, 피부를 보호하기 위해 자외선 차단 화장품을 쓴다. 자외선은 우리 눈에 보이지 않지만 여러 가지 물질 속에 포함된 형광 물질에 흡수되면 가시광선을 방출하게 할 수 있다.



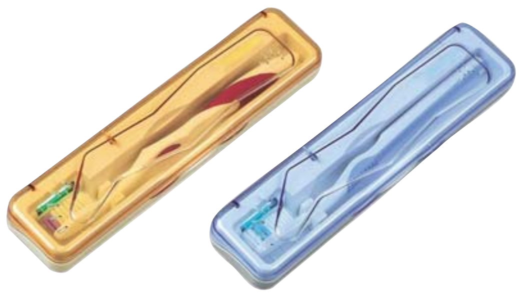


그림 Ⅲ-50 자외선을 이용한 살균기

자외선과 비타민 D

사람이 하루에 필요한 비타민 D의 양은 계란 3개를 먹으면 된다. 그러나 얼굴을 햇빛에 약 15분 동안만 쬐어도 하루에 필요한 비타민 D가 모두 만들어진다. 또한 비타민 D를 만드는 재료가 콜레스테롤이므로 적절하게 햇빛을 쬐면 비타민 D도 만들고 콜레스테롤도 줄어들어 건강에 이롭다.

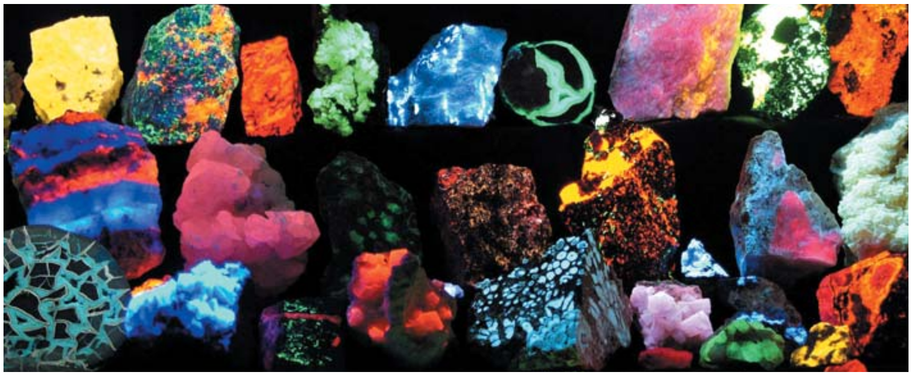
연구 11. 곤충 중에는 자외선을 볼 수 있는 곤충이 있다. 어느 곤충인지 찾아보고, 자외선을 감지하는 눈으로 보는 세상을 상상해 보자.

탐구 25 **관찰** **자외선으로 형광 물질 찾기**

준비물 자외선 등, 흰 옷, 형광펜과 종이, 형광 물질이 들어 있는 광물, 지폐, 기타 형광 물질이 들어 있는 일상적인 물건

과 정
1. 주변을 어둡게 하고, 지폐 위에서 자외선 등을 비춰 보자.
2. 마찬가지 방법으로 광물이나 여러 가지 물체 위에서 자외선 등을 비춰 보자.
   ⇨ 어떤 물체에 형광 물질이 포함되어 있는가?
   주의 자외선 등을 직접 눈에 비추지 않도록 한다. 자외선 등은 덮개를 이용하여 자외선 빛을 가지고 물체에만 비춰질 수 있도록 한다.







뢴트겐(Röntgen, W. K.; 1845~1923)
독일의 실험 물리학자. 크룩스관으로 음극선을 연구하다가 미지의 방사선을 발견하여 이를 X선이라 명명하였다. 1901년에 제1대 노벨 물리학상을 받았다.

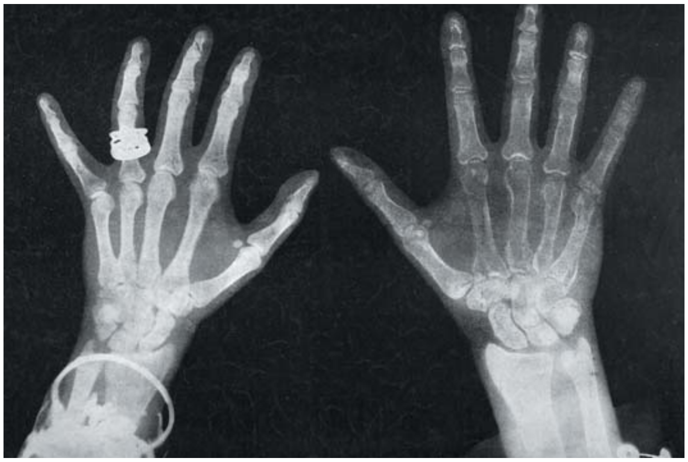
4. X선

자외선보다 파장이 더 짧은 X선은 뢴트겐에 의해 발견되었다. 그는 1895년 11월 실험실에서 검은 종이로 가려진 음극선관으로 실험을 하던 중 옆에 놓여 있던 감광 종이에 검은 선이 생긴 것을 관찰하게 되었다. 감광 종이는 빛을 쪼였을 때에만 색이 변하는 종이이다. 그런데 음극선관은 검은 종이로 가려져 빛이 나올 수 없음에도 불구하고 감광 종이의 색이 변한 것은 그에게는 놀라운 현상이었다.

뢴트겐은 눈에는 보이지 않는 어떤 빛이 검은 종이를 뚫고 나와서 감광 종이의 색을 변화시킬 수 있다고 생각하고, 1895년 12월 부인을 실험실로 불러 손을 놓고 X선 사진을 찍는 데 성공하였다.

그림 Ⅲ-51이 바로 부인의 손을 찍은 최초의 X선 사진인데, 이때 부인의 손가락

에 끼인 반지도 볼 수 있다.


그림 Ⅲ-51 최초의 X선 사진

이후에 X선은 여러 가지 용도로 활용되기 시작했는데, 대표적인 것이 의학 분야이다. 자외선은 피부에 흡수되지만, X선은 에너지가 높아 피부뿐 아니라 우리 몸의 살도 쉽게 투과할 수 있다. 그러나 X선도 뼈는 투과하지 못하므로 이러한 성질을 이용하면 인체 내부의 골격을 살펴볼 수 있다.

실제로 퀴리 부인은 1914년 제 1차 세계 대전이 일어나 전쟁터에서 부상병의 몸속에 박힌 총알을 찾아 제거하기 위해 X선을 활용하였다. 이를 위해 퀴리는 먼저 X선 장치를 만들기 위한 연구를 하였고, 개발한 X선 장치를 진료차에 싣고 다니면서 부상병의 치료를 돕기도 하였다.

이외에도 Ⅲ-52와 같이 공항에서 가방 속의 물건을 살펴보거나 예술적인 사진을 찍는 경우에도 X선을 활용한다.


그림 Ⅲ-52 재미있는 X선 사진들

5. 감마선

보통 감마선은 원자핵이 붕괴하면서 나온다. 빌라드는 우라늄을 연구하면서 감마선을 발견하였다.

핵폭탄은 원자핵의 붕괴에 의해 거대한 에너지를 방출한다. 따라서 핵폭탄이 폭발할 때에는 강력한 감마선이 나온다. 이러한 감마선을 사람이 쪼이게 되면 화상을 입을 뿐 아니라 유전자 변형이 일어나고, 훗날 암이 발생하게 된다. 강한 감마선을 직접 쪼이면 사망할 수도 있다.

감마선은 에너지가 높아 물질을 쉽게 투과할 수 있다. 예를 들면 납 1 cm, 콘크리트 6 cm, 혹은 진흙 9 cm 정도를 지나도 처음 감마선의 절반 정도는 남아 있다. 그렇다고 감마선이 우리에게 해가 되는 것만은 아니다. 최근에 감마선은 암치료에 활용되고 있다. 즉 암세포에만 감마선을 집중적으로 쪼여 암세포를 파괴시킨다. 또 우주를 관찰할 때에 감마선 망원경을 사용하기도 한다. 그러면 우리가 맨눈으로 볼 수 없었던 또 다른 우주를 관찰할 수 있다.



퀴리(Curie, M.; 1867~1934)

폴란드 태생의 프랑스 물리학자. 남편 퀴리와 함께 라듐과 폴로늄을 발견하여 1903년에 함께 노벨 물리학상을 받았으며, 남편이 죽은 뒤 순수한 금속 라듐을 분리하는 데에 성공하여 1911년에 노벨 화학상을 받았다.

빌라드(Villard, P. M.; 1860~1934)

프랑스의 과학자. 1900년 라듐으로부터 감마선을 발견하였다.

6. 적외선

가시광선의 빨강보다 파장이 긴 전자기파로 적외선이 있다. 적외선은 약 1 mm의 파장부터 약 770 nm 사이의 파장을 가지고 있다. 적외선은 우리 눈을 자극하지 못해 눈으로 보이지는 않지만 우리 몸을 따뜻하게 덥혀줄 정도의 에너지는 가지고 있다. 일상적으로 어둠 속에서 열을 내는 물체를 가까이하면 피부로 온도를 느낄 수 있는데, 이것이 적외선이다.

적외선은 1800년 영국의 천문학자인 윌리엄 허셸에 의해 발견되었다. 적외선은 우리 눈으로 볼 수 없지만, 일반적인 태양 전지와 광센서는 가시광선뿐 아니라 적외선도 감지할 수 있다.

적외선은 열을 가진 물체라면 항상 방출된다. 예를 들면 뜨거운 다리미나 우리의 몸에서도 적외선은 방출된다. 열을 가진 물체로부터 나오는 적외선을 측정하면 물체의 온도를 알 수 있는데, 이러한 원리를 이용한 것이 그림 Ⅲ-53의 (가)와 같은 적외선 온도계이다. 또 그림 (나)와 같이 귓 속에 넣어 체온을 측정하는 온도계가 있는데, 이것은 우리 몸의 온도에 따라 방출되는 적외선의 양이 달라지는 것을 이용한다.



허셜(Herschel, W. F.; 1738~1822)

독일 태생의 영국 천문학자. 1781년 자신이 만든 반사 망원경을 이용하여 최초로 천왕성을 발견한 천문학자이다. 이 외에도 수많은 성운 성단과 이중성의 발견, 그리고 은하계 모양에 대한 천문학자로도 유명하다.



(가)



(나)

그림 Ⅲ-53 적외선 온도계

탐구 26 관찰 **적외선 관찰하기**

- **준비물** 리모컨, 태양 전지, 일반 소형 앰프, 마이크 입력 플러그, 캠코더나 디지털 카메라 또는 핸드폰 카메라

- **과 정**
  1. 그림 (가)와 같이 리모컨을 켜면 리모컨 앞에 달린 적외선 다이오드에서 적외선이 나온다.
  2. 태양 전지를 마이크 입력 플러그에 연결하고, 플러그를 일반 소형 앰프의 마이크 입력 단자에 연결한다.
  3. 그림 (나)와 같이 리모컨을 켜고 태양 전지를 비춘다.
     ⇨ 앰프에서 무슨 소리가 들리는가? 만일 들린다면 왜 그런 소리가 나는지 설명해 보자.
  4. 캠코더나 디지털 카메라, 또는 핸드폰 카메라를 켜고, 캠코더나 카메라를 향해서 리모컨을 켜 보자.
     ⇨ 캠코더나 카메라로 리모컨의 적외선이 켜진 것을 볼 수 있는가?


(가)


(나)

그림 Ⅲ-54는 열감지 카메라로 공항에서 열이 나는 사람이 있는지 검색하는 모습을 나타낸 것이다. 그림에서 색깔에 따라 체온을 알아볼 수 있도록 되어 있는 것을 볼 수 있다.


그림 Ⅲ-54 공항에서의 체온 검색

7. 마이크로파

마이크로파는 파장이 1 mm~1 m이고, 진동수는 1~300 GHz의 전자기파로, 파장이 mm 또는 cm이므로 밀리미터파 또는 센티미터파라고도 한다. 마이크로파를 활용한 대표적인 것으로 전자레인지가 있다.

전자레인지가 발명된 계기는 2차 세계 대전에서 사용하던 레이더 때문이었다. 2차 세계 대전이 끝난 직후 레이턴 사에서 근무하던 스펜서라는 사람은 전파의 파장을 여러 가지로 바꿔보는 실험에 몰두하였다. 어느 날 그는 실험 중에 자기 호주머니 안에 넣어둔 초콜렛이 다 녹아 있는 사실을 발견했고, 그 까닭이 레이더 전파의 영향 때문이라고 생각하게 되었다. 이러한 생각으로 연구에 착수한 스펜서는 1945년 '레이더 레인지' 라는 이름으로 제품을 내놓게 된 것이다. '레이더의 영역' 이라는 뜻이었는데, 이후 레이더라는

전자레인지의 마이크로파

물이 가장 잘 흡수할 수 있는 마이크로파의 진동수는 17 GHz이다. 따라서 전자레인지에서 사용하는 2.45 GHz의 마이크로파는 물에 모두 흡수되지 않고 투과하는 양도 많다. 그럼에도 2.45 GHz의 마이크로파를 이용하는 까닭은 음식물의 속까지 골고루 익히기 위해서이다. 만일 17 GHz의 마이크로파를 사용한다면 음식물 표면의 물에서 전부 흡수되어 음식물 겉만 익게 될 것이다.

말이 사라지고 레인지라는 말만 남아 오늘날 전자레인지가 된 것이다.

전자레인지에서 사용하는 마이크로파는 주로 진동수가 2.45 GHz이고, 파장은 12.2 cm이다. 이러한 진동수의 마이크로파는 음식물 속에 들어 있는 물 분자에 잘 흡수되어 열이 발생하도록 할 수 있다. 따라서 전자레인지가 켜져 있을 때 문이 열려 있어 마이크로파가 밖으로 나오면, 우리 몸속의 물 분자에도 영향을 주어 위험하다. 그래서 전자레인지는 문이 열리면 자동으로 작동을 멈추도록 되어 있다.

마이크로파는 전자레인지 외에 통신용으로도 활용된다. 예를 들면 우리나라에서 사용하는 휴대 전화는 1.8 ~2.1 GHz 진동수의 마이크로파를 사용하고, 무선 전화기 중에는 2.4 GHz 진동수의 마이크로파를 이용하는 경우도 있다. 또 무선 랜에서는 2.4~5.85 GHz 진동수의 마이크로파를 이용하기도 한다.

8. 라디오파와 TV파

라디오나 TV에서는 마이크로파 영역부터 시작해서 마이크로파보다 긴 파장의 전자기파를 이용한다. 흔히 이것들을 **전파**라고 하기도 한다. 여러 가지 주파수 영역을 표시하면 표 Ⅲ-6과 같다.

파장이 긴 낮은 소리는 회절이 잘 일어나므로 장애물 뒤까지 잘 전달된다는 것을 앞에서 배웠다. 전자기파도 마찬가지이다. 라디오도 AM 라디오에 사용되는 전파의 파장이 FM 라디오에 사용되는 전파의 파장보다 길다. 따라서 일반적으로 AM 라디오에서 사용되는 전파는 산이나 높은 건물과 같은 장애물이 있어도 회절되어 건물과 산 뒤로도 잘 전달된다. 따라서 장애물이 있을 때 FM 라디오보다 AM 라디오가 수신이 잘 된다.

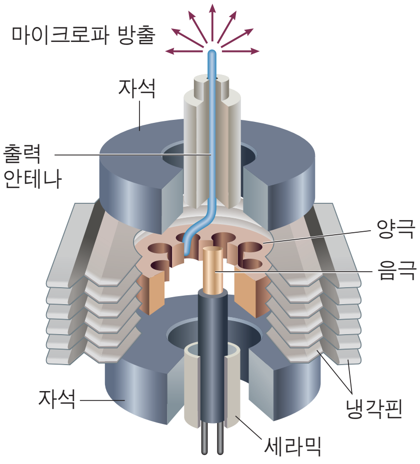
표 Ⅲ-6 TV와 라디오에서 사용되는 주파수 영역

구분	진동수
디지털 TV	470~698 MHz
FM 라디오	88~108 MHz
단파 라디오	3~30 MHz
AM 라디오	535~1605 kHz

과학과 생활

전자레인지에서 마이크로파 발생

전자레인지에는 오른쪽 그림과 같이 마그네트론이라는 곳에서 마이크로파가 발생한다. 마그네트론 중심부의 음극이 가열하면 전자가 방출하는데, 방출된 전자는 원형 바깥쪽의 양극으로 끌려간다. 이때 위아래로 강한 자기장을 걸어주면 전자가 바깥쪽으로 이동하면서 회전한다. 전자의 회전은 가속 운동에 해당하므로 가속 운동하는 전자는 전자기파를 발생한다. 이때 발생하는 전자기파가 마이크로파이다.



2 전자기파의 발생과 수신



학습 목표

1. 전자기파의 발생 원리를 설명할 수 있다.
2. 전자기파의 수신 원리를 설명할 수 있다.
3. 생활 속의 전자기파 차폐 방법을 설명할 수 있다.

방송국에서는 전파를 발생하여 안테나로 전파를 널리 퍼뜨린다. 이렇게 발생된 전파는 다시 다른 안테나에서 수신되어 전기 신호로 바뀔 수 있다. 안테나에서 전파를 발생하는 원리는 안테나에서 전파를 수신하는 원리의 정반대이다. 전자기파는 잘 수신하는 것도 중요하지만, 필요한 경우에 잘 차폐하는 것도 필요하다. 휴대 전화 신호를 차폐하는 경우가 그렇다.

전파의 발생과 수신 원리 및 전자기파의 차폐에 대하여 알아보자.

1. 전자기파의 발생

모든 전기와 자기 현상은 전하에 의해 일어난다. 전하가 가만히 정지해 있으면 주변에 정지한 전기장이 생기고, 이러한 전기장에 의해 전기력이 작용한다. 만일 전하가 일정한 속력으로 계속해서 움직이면, 즉 일정한 전류가 흐르면 그 주변에는 정지한 자기장이 생긴다. 전하가 정지해 있는 것도 아니고, 일정하게 운동하는 것도 아니라, 속도가 변하면서 움직이는 가속 운동을 하거나 전류가 변하면 전하 주위에 생긴 전기장이 변하고, 전하의 흐름에 의해 생긴 자기장도 함께 변한다. 따라서 전기장과 자기장이 함께 변하고, 이러한 변화가 공간을 통해 함께 퍼져 나간다. 이것이 전자기파이다.

직류

직류란 전류의 방향이 변하지 않고 일정한 전류를 의미한다.

교류

교류란 전류의 방향이 계속 바뀌는 전류를 의미한다.

그림 Ⅲ-55와 같이 직선 도선의 위아래에 각각 (+)극과 (−)극이 연결되어 있다고 생각해 보자. 그러면 전기장은 위아래로 만들어지게 된다. 도선 내부에 있던 전하는 전기력을 받아 이동하고 전하가 이동할 때 생긴 전류에 의해 도선 주위에 동심원으로 자기장도 동시에 만들어지게 된다.

이번에는 직선 도선 위아래의 (−)극과 (+)극이 바뀌었다고 생각해 보자. 그러면 전기장의 방향이 위아래가 바뀌고 직선 도선 내부의 전하도 반대로 움직여 전류의 방향도 바뀌므로 자기장의 방향도 바뀌게 된다.

이러한 방식으로 직선 도선 위아래의 (+)극과 (−)극이 계속 바뀌게 되면 전기장은 위아래로 변하게 되고, 자기장의 회전 방향도 변하게 된다.

그림 Ⅲ-56은 (+)전하와 (−)전하가 각각 위아래로 진동할 때 생기는 전자기파를 나타낸 것이다. 그림에서 전기장은 빨간색 선으로 나타내었고, 자기장은 파란색으로 종이 면에 수직으로 들어오고(•) 나가는 것(×)으로 표

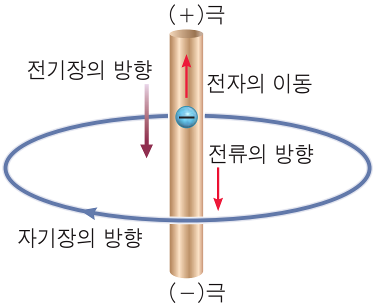


그림 Ⅲ-55 직선 도선에 생기는 전기장(위에서 아래)과 자기장(시계 방향)

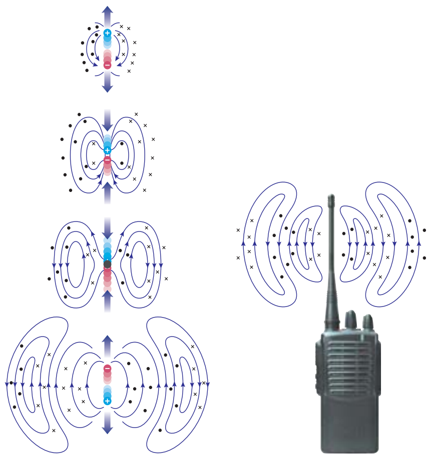


그림 Ⅲ-56 안테나에서 전자기파가 퍼져 나가는 모습

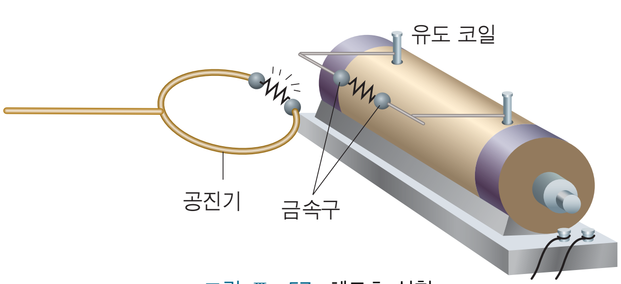


그림 Ⅲ-57 헤르츠 실험

시하였다. 전기장의 방향은 전하의 위쪽을 보면 알 수 있고, 자기장의 방향은 전하의 이동방향, 즉 전류의 방향을 보면 알 수 있다.

전하를 가속 운동시키는 방법으로 도선에 교류를 흐르게 하는 방법도 있지만, 간단하게 전기 방전을 이용할 수도 있다. 즉, 떨어진 두 전선 사이에 높은 전압을 걸어 두 전선 사이에 방전이 일어나게 하면, 이때 전자가 가속 운동하면서 전자기파가 발생한다.

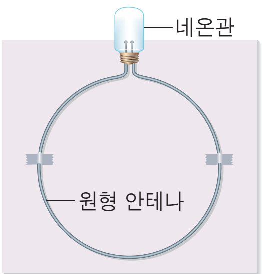
1887년 헤르츠는 그림 Ⅲ-57과 같이 유도 코일로 고전압을 만들어 방전을 일으켜 전자기파를 발생시켰다. 이렇게 발생된 전자기파는 공기 중으로 퍼져 나간다.

그리고 공기 중으로 퍼져 나간 전자기파는 공진기라는 안테나에서 검출되어 공진기에서 다시 전기방전을 일으키는 것이다.

다음 탐구에서 전자기파를 발생시키고 발생한 전자기파를 안테나로 받아 안테나에 연결된 전구의 불을 켜보자.

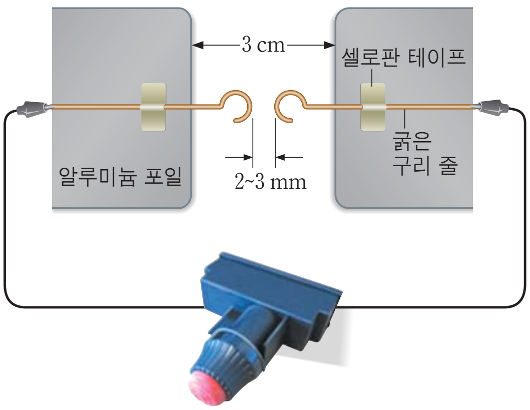
탐구 27 시범 관찰 전기 방전으로 전자기파 발생시키기

준비물 네온관이 연결된 원형 안테나, 압전 물질을 이용한 고전압 발생 장치 혹은 멀티 스파커



과 정

1. 오른쪽 그림과 같이 네온관이 연결된 직경 20 cm 정도의 원형 도선을 두꺼운 판지에 테이프로 고정한다.
2. 15×15 cm 정도의 알루미늄 포일 두 장을 두꺼운 판지 위에 3 cm 간격으로 붙이고, 그 위에 굵은 구리줄을 2∼3 mm 간격으로 붙이고, 구리줄 양 끝에 압전 물질을 이용한 고전압 발생 장치를 연결하여 구리줄 사이에 전기 불꽃이 방전되는지 관찰한다.
3. 원형 안테나 판지를 알루미늄 포일 위에 1 cm 정도 간격으로 가까이하여 네온관을 관찰한다.
   ⇨ 원형 안테나에 연결된 네온관에 불이 켜지는가?
   주의 고전압 발생 장치와 굵은 구리줄에 손을 대면 높은 전압으로 위험하므로 주의한다.



2. 전자기파의 수신

앞에서 헤르츠 실험을 재현하면서 전자기파를 안테나로 받아 안테나에 연결된 네온관의 불을 켜 보았다. 이처럼 금속으로 된 안테나를 이용하면 전자기파를 수신할 수 있다.

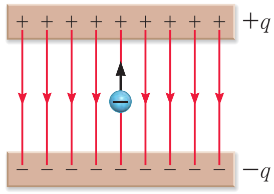
그렇다면 그 원리는 무엇일까?

그림 Ⅲ-58과 같이 직선으로 만들어진 금속 안테나에 전파가 도착하면 안테나가 전기장 속에 놓이게 된다. 만일 전기장이 아래 방향으로 걸리게 되면, 금속 안테나 속의 전자들은 전기력을 받으므로 윗방향으로 움직인다.

전파는 계속 위아래로 진동하므로 잠시 후에는 전기장의 방향이 바뀌게 된다. 즉 전기장이 윗방향으로 걸리게 되면, 이번에는 금속 안테나 속의 전자는 전기력을 반대 방향으로 받아 아래 방향으로 움직인다.

결국 진동하는 전파가 오면 금속 안테나 속에서는 전자가 위아래로 진동하게 되고, 따라서 금속 안테나에 교류 전류가 흐르는 셈이 된다. 이렇게 생긴 약한 교류 전류를 증폭기로 증폭하면, 전파에 실린 여러 가지 신호를 수신할 수 있다.

전기장의 방향



전기장의 방향은 (+)전하에서 (−)전하로 향한다.

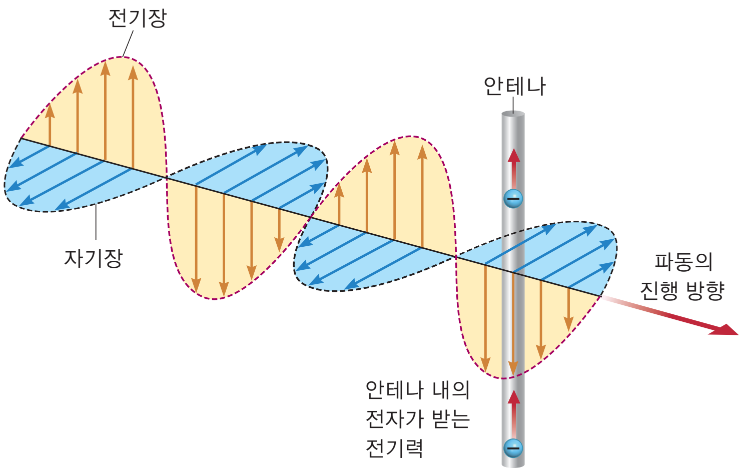


그림 Ⅲ-58 전자기파 속에 놓인 직선 안테나

3. 전자기파의 차폐

일상생활 속에서 전파를 잘 수신하는 것도 중요하지만, 공연장과 같은 특별한 상황에서는 전파를 차폐하는 것도 중요하다. 전자기파를 차폐하는 가장 기본적인 방법 중의 하나는 금속으로 된 상자를 만드는 것이다. 그러면 금속으로 된 상자 속으로는 전파가 통과하지 못한다. 도체 내부에서는 전기장이 0이 되기 때문이다. 그래서 특별한 장치가 없다면 일반적으로 엘리베이터 안에서는 휴대 전화 통화가 잘 되지 않는다. 전자레인지 안에서 사용하는 마이크로파도 전자기파의 일종이다. 이러한 마이크로파가 전자레인지 밖으로 나온다면 사람 몸속의 물 분자에 흡수되어 온도를 높이므로 위험해진다. 따라서 전자레인지에서도 마이크로파가 밖으로 나오지 않도록 하



그림 Ⅲ-59 전자레인지에서 금속판과 금속망에 의한 전자기파 차폐

기 위해 그림 Ⅲ-59와 같이 몸체는 금속 상자로 만들어져 있고, 문은 금속 철망으로 만들어져 있다. 마이크로파는 완전한 금속판이 아니라 조밀한 금속망 정도라도 투과하지 못한다.

다음 탐구 과정을 통해 전자기파 차폐가 이루어지는 원리에 대해 생각해 보자.

탐구 28 시범 실험 전자기파의 차폐

준비물 휴대 전화 2대, 알루미늄 포일, 스피커가 달린 휴대용 라디오, 금속 페인트통 또는 양철 대야 2개, 두꺼운 종이, 가위, 풀, 멀티 스파커

과 정

1. 오른쪽 그림과 같이 휴대 전화를 알루미늄 포일로 두세 겹으로 싸고, 이 휴대 전화에 전화를 걸어보자.
   ⇨ 전화가 걸리는가?



2. FM 라디오를 줄에 매달아 켜 놓고 금속으로 된 큰 통, 예를 들면 금속으로 된 큰 페인트 통, 또는 양철로 된 대야 두 개 안에 넣어보자.
   ⇨ 라디오 소리가 들리는가?
3. 다음 그림과 같이 간단한 장치로 번개 장치를 만들고 관찰해 보자.
   ① 그림 (가)와 같이 두꺼운 종이 판 위에 구름과 땅, 나무와 사람, 자동차와 자동차 안의 사람을 알루미늄 포일로 오려 붙인다. 이때 나무 기둥은 종이로 만든다.
   ② 구름과 땅에 각각 멀티 스파커를 연결하고 스위치를 연결하면 그림 (나)와 같이 번개가 치는 것을 관찰할 수 있다.
   ⇨ 번개가 치는 날 나무 밑과 자동차 안의 사람은 안전한가?

   주의 이 실험은 안전을 위해 교사의 시범 실험으로 한다. 이때 멀티 스파커를 직접 만지지 않도록 조심한다. 장갑을 끼거나 부도체 부분만 손을 대도록 한다.

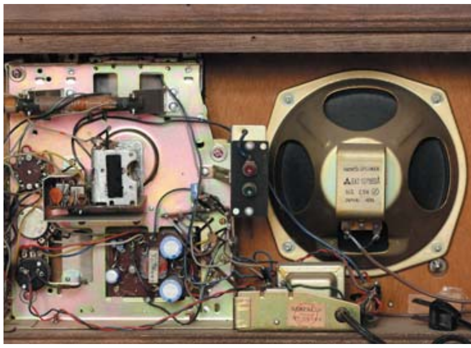


(가)



(나)

3 교류 회로에서의 코일과 축전기



학습 목표

1. 축전기의 전기 용량과 코일의 유도 용량을 정의할 수 있다.
2. 교류 회로에서 코일과 축전기가 어떻게 저항 역할을 하는지 설명할 수 있다.

직류 회로에서는 니크롬선이나 탄소 막대 등이 전류의 흐름을 방해하여 전기 저항의 역할을 한다. 그러나 교류에서는 축전기나 코일도 저항 역할을 할 수 있다. 그러한 저항의 역활은 교류의 진동수에 따라서도 달라질 수 있다. 이러한 특징을 이용하면 여러 진동수가 섞여 있는 교류 신호에서 특정한 주파수의 교류 신호만 흐를 수 있게 할 수도 있다.

여기에서는 이러한 원리와 실생활 응용 사례에 대해서 알아보자.

1. 축전기의 전기 용량과 교류에서의 저항 역할

축전기는 그림 Ⅲ-60과 같이 기본적으로 평행한 두 장의 금속판으로 만들어져 있다. 축전기의 가장 기본적인 기능 중의 하나는 전기 에너지를 저장했다가 방출할 수 있다는 것이다.

다음 탐구에서는 축전기에 전원을 연결하여 각 판에 (+)전하와 (−)전하를 각각 저장하고 나서 전원을 떼어내어 축전기로만 발광 다이오드에 불이 켜지는 것을 관찰할 수 있다.

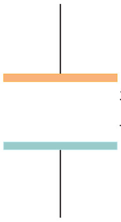


그림 Ⅲ-60 축전기의 기본 구조

탐구 29 해 보기 **축전기의 전하 저장**

- **준비물** 3300 μF 16 V 용량의 축전기, 발광 다이오드, 1 F 9 V 용량의 축전기, 9V 건전지, 니퍼, 펜치

- **과 정**
  1. 니퍼와 펜치를 이용하여 오른쪽 그림과 같이 3300 μF 축전기를 분해해 보자.
     ⇨ 분해한 축전기는 몇 장의 금속으로 이루어져 있는가?
  2. 1 F 용량 축전기를 준비하고, (+)극과 (−)극에 9 V 건전지를 약 1분 동안 접촉한다.
  3. 1분 후에 건전지를 떼어내고, 축전기의 (+)극과 (−)극에 발광 다이오드의 (+)극과 (−)극을 연결한다.
     유의 발광 다이오드의 긴 선이 (+)극이다.
     ⇨ 발광 다이오드의 불이 켜지는가?



그림 Ⅲ-61과 같이 각 판에 전원을 연결하면 각 판에 전하를 저장할 수 있는데, 이러한 과정을 **충전**이라고 한다. 평행판 축전기에 (+)전하와 (−)전하가 저장되는 충전 과정을 정리하면 다음과 같다.

- 평행판 축전기의 윗판에는 전원의 (+)극을, 아랫판에는 (−)극을 연결한다.
- 아랫판에는 전원으로부터 나온 (−)전하인 전자가 도착하여 쌓이기 시작한다.
- 동시에 윗판에서는 전자가 밀려 전원의 (+)극으로 이동한다
- 그러나 계속해서 전자가 아랫판으로 들어올 수는 없다. 왜냐하면 이미 도착하여 쌓인 전자로부터 척력이 작용하기 때문이다.
- 따라서 얼마 후에는 더 이상 전자의 이동이 없어지고 아랫판은 (−)로 대전되고, 윗판은 (+)로 대전된 상태로 있게 된다.

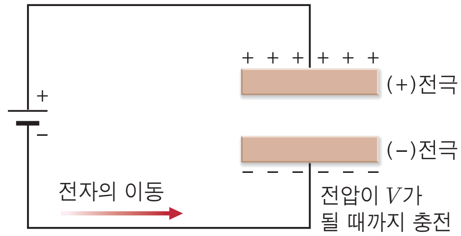


그림 Ⅲ-61 축전기의 충전

그림 Ⅲ-62와 같이 충전된 에너지는 전구의 불을 켤 수 있다. 이와 같이 축전지에 저장된 전하가 빠져 나가는 현상을 **방전**이라고 한다. 즉, (+)전하와 (−)전하가 각각 저장된 축전기에 전구 등을 연결하면 아랫판에 있던 전자들이 빠져나오면서 전구의 불이 켜진다. 그러나 얼마 후에는 저장된 전자가 다 빠져 나와 더 이상 전구의 불은 켜지지 않게 된다.

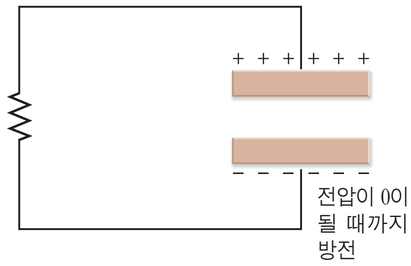


그림 Ⅲ-62 축전기의 방전

평행판 축전기가 얼마나 많은 전하로 대전될 수 있는지의 정도를 나타내는 것이 전기 용량 C이다. 즉 C의 값이 클수록 많은 (+)전하와 (−)전하를 각각 저장할 수 있다. 이때 전기 용량의 크기는 축전기의 모양에 따라 결정된다. 그림 Ⅲ-63의 (가)와 (나)를 비교하면 금속판의 면적이 넓을수록 더 많은 전하를 저장할 수 있는 것을 알 수 있고, 그림 (나)와 (다)를 비교하면 금속판의 간격이 좁을수록 아랫판에 (−)전하가 쌓일 때 윗판에서 (−)전하가 더 잘 밀려 나갈 수 있으므로 더 많은 전하를 저장할 수 있다는 것을 나타낸다.

1C

1 C이란 6.25×10^{18}개의 양성자가 가진 총전하량을 의미한다.

전기 용량 C의 단위로는 F(패럿)을 사용한다. 1 F이란, 1 V를 걸었을 때 양극에 1 C의 (+)전하와 1 C의 (−)전하를 각각 저장할 수 있는 용량을 의미한다.

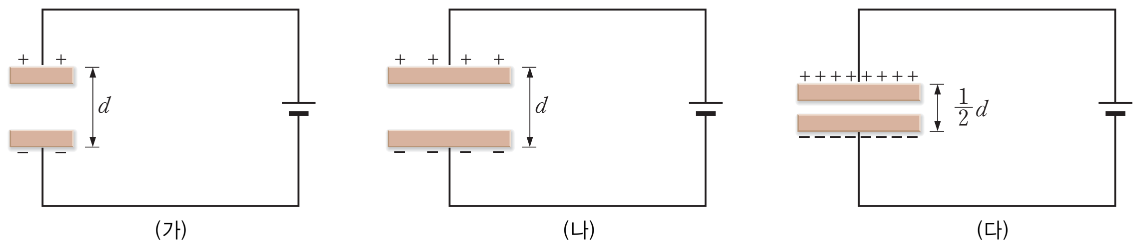


그림 Ⅲ-63 금속판의 넓이와 간격에 따른 전기 용량의 변화

연구 12. 전기 용량이 커져도 축전기에 저장된 총 전하량을 0이라고 한다. 왜 그런지 설명해 보자.

1 F이라는 전기 용량은 일반적으로 매우 큰 값이므로 이보다 작은 값으로 마이크로패럿(μF)이나 피코패럿(pF)을 사용한다.

축전기에 직류를 흐르게 하면 윗판과 아랫판에 어느 정도의 (+)전하와 (−)전하가 각각 쌓이게 될 때까지 전류가 흐를 수 있다. 그러나 더 이상 (+)전하와 (−)전하가 쌓일 수 없으면 더 이상 전류는 흐르지 않는다. 그림 Ⅲ-64는 직류 건전지를 축전기에 연결했을 때 처음에는 전류가 흐르다가 점차 약해져서 전류가 거의 흐르지 않는 것을 나타낸 그래프이다.

그러나 축전기에 교류를 흐르게 하면 상황은 달라진다. 먼저 축전기의 윗판과 아랫판에 각각 전원의 (+)와 (−)를 연결하면 아랫판에는 (−)전하가 쌓이고, 윗판에는 (+)전하가 쌓이면서 전류가 흐른다. 그런데 윗판과 아랫판에 전하가 꽉 차기도 전에 전류의 방향을 바꾸면 이번에는 반대로 전하가 쌓이면서 전류가 흐르게 된다. 따라서 축전기에 교류를 연결하면 축전기의 각 금속판에 전하가 쌓이기 전에 전류의 방향이 바뀌면서 계속 전류가 흐를 수 있다. 즉 축전기를 교류에 연결하면 교류는 계속 흐를 수 있다. 그런데 교류가 흐르는 정도는 달라질 수 있다. 예를 들어 축전기의 전기 용량 C가 작으면 교류의 전류 방향이 바뀌기 전에 금방 전하가 차게 되어 더 이상 전류가 흐르지 못한다. 따라서 축전기의 전기 용량 C값이 작으면 축전기는 교류에서 저항 역할을 크게 하게 된다.

또 교류의 주파수 f가 작아도 축전기의 저항이 커지게 된다. 왜냐하면 축전기의 각 금속판에 전하가 차기 전에 교류의 전류 방향이 바뀌어야 전류가 계속 흐를 수 있는데, 주파수가 너무 작아 교류의 전류 방향이 천천히 바뀌면 전류 방향이 바뀌기 전에 축전기에 전하가 찰 수 있기 때문이다. 따라서 교류에서 축전기에 의한 저항을 **용량 리액턴스**라 하고, 그 크기 X_C는 다음과 같다.

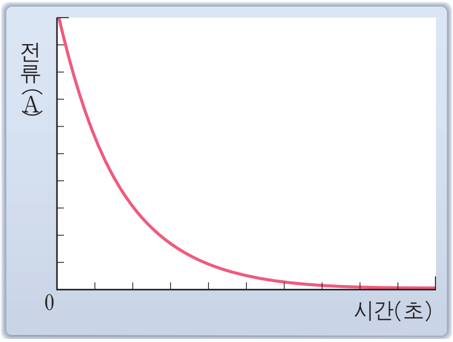


그림 Ⅲ-64 직류에서 축전기에 흐르는 전류

$$X_C = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{1}{fC}\right)$$

예제 4

직류일 때 X_C는 무한대가 된다. f의 변화로 왜 그런지 설명해 보자.

해설 | 직류는 $f=0$인 경우이다. 그러면 $X_C=\frac{1}{2\pi}\left(\frac{1}{fC}\right)$에서 분모가 0이므로 X_C는 무한대가 된다. 즉 축전기에는 직류가 흐르지 않는다는 것을 의미한다.

1 μF과 1 pF

- 1 μF$=10^{-6}$ F
- 1 pF$=10^{-12}$ F

축전기의 용량 표시



축전기의 표면에 보면 1000 μF과 같이 전기 용량이 표시되어 있다. 그러나 단위 표시가 없이 103이나 224와 같이 숫자만 쓰여져 있는 경우가 있다. 이 경우에 전기 용량은 다음과 같이 읽는다.

① 첫째 자리는 10의 자리, 둘째 자리는 1의 자리로 읽는다.

② 마지막 숫자는 10의 자승으로 읽는다.

- 103인 경우: 10×10^3 pF
- 224인 경우: 22×10^4 pF

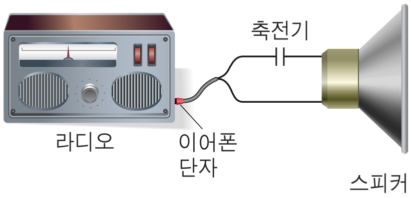
리액턴스

리액턴스란 영어의 'Reactance'로 방해한다는 의미이다. 따라서 저항과 같은 의미이지만, 일반적인 저항(Resistance)과 구별하기 위해 사용한다.

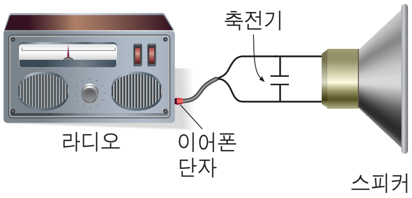
탐구 30 관찰 축전기로 높은 소리와 낮은 소리 걸러내기

준비물 축전기 5 μF과 200 μF, 8 Ω 스피커, 음량이 큰 라디오, 이어폰 단자와 스피커를 연결할 수 있는 선

과 정
1. 라디오 이어폰 단자에 스피커를 연결하여 소리가 잘 나는지 확인한다.
2. 스피커에서 노래 소리가 나도록 하고, 다음 그림 (가)와 같이 스피커와 이어폰 단자 사이에 5 μF 축전기를 직렬로 연결한다.
   ⇨ 높은 소리와 낮은 소리 중에서 잘 들리지 않는 소리가 있는가?
3. 이번에는 이어폰 단자를 스피커에 연결하여 노래 소리가 나도록 하고, 스피커에 병렬로 200 μF 축전기를 연결한다.
   ⇨ 높은 소리와 낮은 소리 중에서 잘 들리지 않는 소리가 있는가?



(가)



(나)

정 리
1. 과정 2에서 어떤 소리가 잘 들리지 않는지 관찰하고 그 까닭을 용량 리액턴스를 이용해 설명해 보자.
2. 과정 3에서 어떤 소리가 잘 들리지 않는지 관찰하고 그 까닭을 용량 리액턴스를 이용해 설명해 보자.

과학사

축전기의 역사



1745년 최초의 축전기 형태인 라이덴병이 독일 발명가인 클레이스트에 의하여 발명되었다. 최초의 라이덴병은 물을 채운 유리병에 코르크 마개 중앙으로 도선을 삽입하여 물에 닿도록 하여 정전기를 충전시키는 단순한 형태였다. 그 후 유리병 내부와 외부에 금속박을 입혀 극성이 서로 다른 전하를 충전시키고, 도선을 서로 연결하여 충전된 전하를 방전시키는 완전한 형태의 축전기로 발전하게 되었다. 라이덴병에서는 유리가 유전체, 금속박이 전극 역할을 한다.

초기에는 주로 자연적인 재료를 유전체로 사용하였으나 제2차 세계 대전을 전후하여 독일에서 금속 표면을 얇은 막으로 입히는 기술(증착)이 발전하면서 소형 축전기가 만들어졌다. 이후 전기 · 전자 공업의 발달과 새로운 유전 재료가 개발되면서 다양한 종류의 축전기로 발전하였다.

2. 코일의 유도 용량과 교류에서의 저항 역할

패러데이 법칙에 의하면 코일에 변하는 자기장이 걸리면 코일에 유도 기전력이 생긴다고 하였다. 이때 그림 Ⅲ-65에서 코일의 단면적이 넓고, 코일이 촘촘하게 많이 잘 감겨 있을수록 코일에 유도 기전력이 크게 생긴다. 이처럼 유도 기전력이 생기는 정도를 코일의 **유도 용량**이라고 한다. 즉 코일의 유도 용량 L이 클수록 자기장이 변할 때 코일에 유도 기전력이 크게 생길 수 있다.

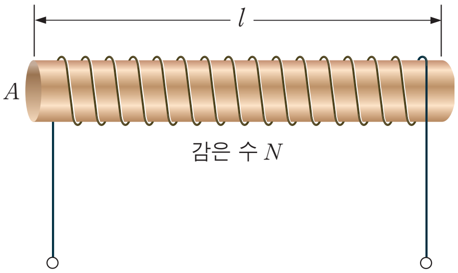


그림 Ⅲ-65 코일의 유도 용량

유도 용량의 단위로는 H(헨리)를 사용하고, 유도 용량이 작은 경우에는 mH로 나타낸다.

코일에 변하는 전류가 흐를 때 코일에 생기는 유도 전류는 렌츠 법칙에 의해 원래 전류의 변화 방향을 반대하는 방향으로 유도 기전력이 생긴다.

따라서 코일에 교류가 흐르면 코일에 흐르는 전류의 세기는 약해진다. 결국 교류가 코일에 흐르면 코일은 저항 역할을 하게 되는 것이다. 이때 코일의 저항은 코일의 유도 용량 L값과 교류의 진동수 f에 따라 달라진다. 코일의 L값이 클수록 코일의 저항은 커진다. 왜냐하면 L값이 클수록 코일에 유도 전류가 많이 생기고, 이 유도 전류는 교류의 반대 방향으로 생기므로 코일에 흐르는 전체 전류가 작아지기 때문이다.

또 교류의 진동수 f가 클수록 코일의 저항은 커진다. 왜냐하면 진동수가 클수록 전류의 방향이 빨리 바뀌어 자기장이 빨리 바뀌므로 코일에 생기는 유도 전류가 커지기 때문이다. 따라서 교류에서의 코일의 저항을 **유도 리액턴스**라 하고, 그 크기 X_L은 다음과 같다.

$$X_L = 2\pi f L$$

> **유도 기전력**
>
> 만일 균일한 자기력선이 $1\ m^2$의 면적당 10개였다가 1개로 변화했다고 하자. 이때 코일의 면적이 $1\ m^2$이었다면 코일을 지나는 자기력선은 10개에서 1개로 변화되므로 자기력선의 변화량은 9개이다. 그러나 코일의 면적이 $10\ m^2$이라면 코일을 지나는 자기력선은 100개에서 10개로 변화되었으므로 자기력선의 변화량은 90개가 된다. 즉 코일의 면적이 클수록 자기력선의 변화가 커진다.
>
> • $1\ mH = 10^{-3}\ H$

연구 13. 직류일 때 $X_L = 0$이 된다. f의 변화로 왜 그런지 설명해 보자.

연구 14. 탐구 30에서 라디오와 스피커 사이에 콘덴서 대신에 코일을 직렬연결하거나 병렬연결하면, 언제 높은 소리가 잘 들리지 않거나, 낮은 소리가 잘 들리지 않을지 설명해 보자.

예제 5

X_L의 단위는 전기 저항의 단위인 Ω을 사용한다. 왜 X_L의 단위가 Ω인지 설명해 보자.

해설 | $X_L = 2\pi f L$에서 X_L의 단위는 f의 단위와 L의 단위의 곱이다. 이때 f의 단위는 1/초이다. 그리고 $\varepsilon = -L\dfrac{dI}{dt}$에서 L의 단위는 (ε의 단위)$\times\left(\dfrac{t\text{의 단위}}{I\text{의 단위}}\right)$이므로, V×(초/A)이다. 따라서 X_L의 단위는 (1/초)×V(초/A)=V/A가 된다. 이것은 $V = IR$에서 R의 단위인 Ω과 같다.



4 전자기파 신호와 정보의 인식

학습 목표

1. LC 회로에 의한 전자기파의 발생 원리와 수신 원리를 설명할 수 있다.
2. 방송의 원리와 무선 통신 사례를 설명할 수 있다.
3. 전자기파를 이용한 정보 인식 방법의 사례를 설명할 수 있다.

코일과 축전기는 교류에서 저항 역할을 할 뿐 아니라 전자기파를 발생시킬 때 원하는 주파수의 전자기파만 발생시키는데 사용할 수도 있고, 반대로 라디오에서 원하는 주파수의 전자기파만 받고 싶을 때에도 사용된다. 여기에서는 이러한 원리와 함께 다양하게 전자기파를 검출하여 전자기파 속의 정보를 인식하는 방법에 대해서 알아보자.

전기 에너지와 자기 에너지

전기 용량 C인 축전기에 전압 V를 걸었을 때 축전기에 저장된 전기장 에너지 U_E는 다음과 같다.

$$U_E=\frac{1}{2}CV^2$$

또 자기 용량 L인 코일에 전류 I가 흐를 때 코일에 저장된 자기 에너지 U_B는 다음과 같다.

$$U_B=\frac{1}{2}LI^2$$

전자기파

그림 Ⅲ-66에서 교류에 의해 전자기파가 발생할 수 있다.

1. 코일과 축전기에서 에너지의 전환

축전기의 윗판과 아랫판에 각각 (+)전하와 (−)전하가 있으면 축전기 내부에는 전기장이 형성된다. 따라서 축전기에 전기 에너지가 저장될 수 있다. 마찬가지로 코일에 전류가 흐르면 코일 주변에 자기장이 형성되므로 코일에 자기 에너지가 저장될 수 있다.

그림 Ⅲ-66과 같이 전기 에너지가 저장된 축전기를 코일에 연결하면 코일로 전류가 흐르면서 축전기에 저장되어 있던 전기 에너지 U_E가 코일의 자기 에너지U_B로 전환될 수 있다. 그리고 다시 코일에 저장되었던 자기 에너지는 축전기에 전기 에너지로 저장될 수 있다. 이것이 특정 진동수의 전파를 송신하는 원리이다. 따라서 그림

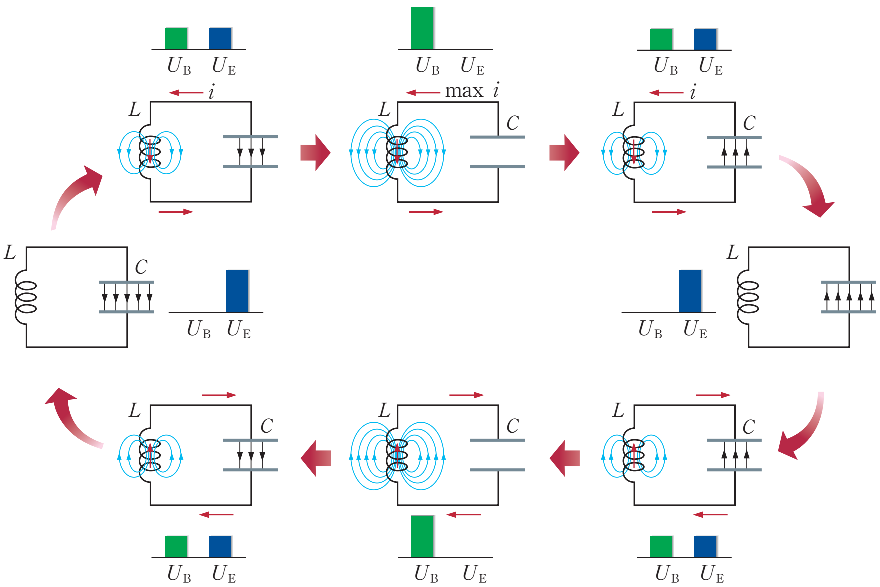


그림 Ⅲ-66 LC 회로에서 전기 에너지(U_E)와 자기 에너지(U_B)의 전환

Ⅲ-67과 같은 LC 회로는 방송국뿐 아니라, 무전기 등에서 전파를 송신하는 장비에 기본적으로 포함되어 있다.

이것은 그림 Ⅲ-68의 진자가 왕복 운동할 때 최고점에서의 퍼텐셜 에너지가 최하점에서의 운동 에너지로 전환되고, 운동에너지가 다시 퍼텐셜 에너지로 전환되는 것과 같다.

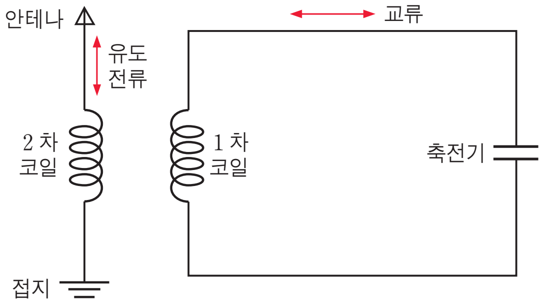


그림 Ⅲ-67 LC 회로와 안테나에서 전자기파의 발생

LC 회로에 교류가 흐르면 안테나에 연결된 코일에도 유도 전류가 생겨 같은 진동수의 교류가 흐른다.

2. LC 회로의 고유 진동수

코일과 축전기에서 왕복으로 흐르는 전류의 진동수는 코일의 유도 용량과 축전기의 전기 용량에 의해 결정된다. 즉 코일의 유도 용량이 클수록 코일에 저장할 수 있는 자기 에너지가 커지고, 축전기의 전기 용량이 클수록 축전기에 저장할 수 있는 전기 에너지가 커지므로, 각각의 에너지가 서로 전환되는데 더 많은 시간이 걸린다. 따라서 코일과 축전기의 용량이 클수록 왕복하는 전류의 주기는 길어진다. 따라서 코일과 축전기에 흐르는 교류의 고유 진동수 f는 다음과 같이 코일의 유도 용량 L과 축전기의 전기 용량 C에 의해 결정된다.

$$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

코일과 축전기에 교류가 흐르면 코일과 축전기가 저항 역할을 하지만 LC 회로의 고유 진동수 f와 같은 교류가 흐르면 이때 교류는 안정되게 계속 진동하며 흐를 수 있다.

만일 그림 Ⅲ-67과 같이 LC 회로에 특정한 진동수의 교류가 흐르면 LC 회로 옆에 놓인 코일에 같은 진동수의 유도 전류가 흘러 안테나에 특정 진동수의 전자기파만 발생시킬 수 있다.

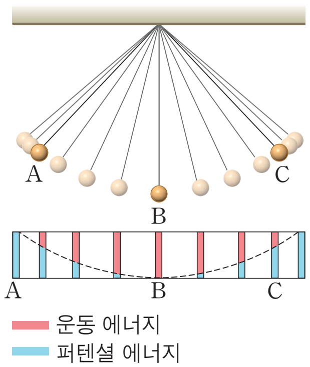


그림 Ⅲ-68 진자의 역학적 에너지

예제 6

방송국에서 800 kHz의 전파를 발생시키려고 한다. LC 회로의 C값이 100 pF이라면, L값은 몇 mH인가?

해설 | $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$에서

$$L=\frac{1}{4\pi^2Cf^2}=\frac{1}{4\pi^2\times100\times10^{-12}\,\text{F}\times(800\times10^3)^2\,\text{Hz}}=\frac{1}{4\pi^2\times64}$$
$$=0.4\times10^{-3}\,\text{H}=0.4\,\text{mH}$$

답 0.4 mH

접지

전기 회로의 일부를 땅과 연결하는 것을 접지라고 한다. 감전을 막기 위해 접지가 사용되는데 안테나를 땅과 연결하여 전류가 흐를 수 있도록 하는 데에도 사용된다.

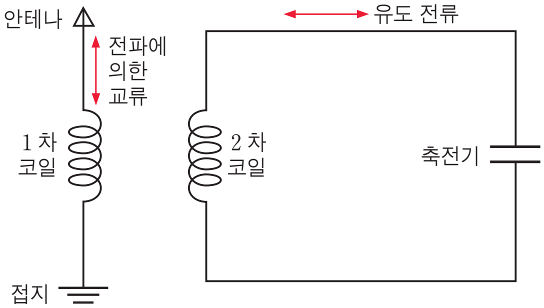


그림 Ⅲ-69 안테나에 들어온 전자기파와 LC 회로

반대로 라디오에서 특정 주파수의 방송만을 선택하기 위해서도 LC 회로를 사용한다.

안테나에서는 여러 방송에서 보낸 여러 주파수의 전자기파들이 한꺼번에 올 것이다. 그러면 안테나에서 여러 진동수의 교류가 흐른다.

이때 그림 Ⅲ-69와 같이 안테나에 연결된 코일 옆에 LC 회로를 놓으면 LC 회로에는 정해진 진동수의 교류만 흐를 수 있다.

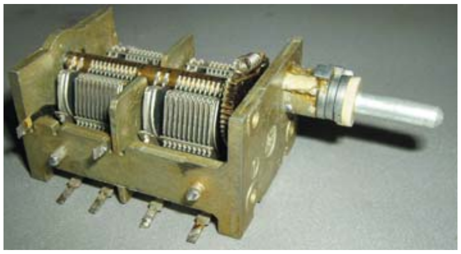


그림 Ⅲ-70 가변 축전기

즉 외부에서 들어온 전자기파 중에서 LC 회로의 주파수와 일치한 전자기파의 전류만 흐를 수 있기 때문이다.

안테나에 도착한 수많은 전자기파 중에서 원하는 주파수의 전자기파만 선택하기 위해서는 적절하게 L값이나 C값을 바꾸면 된다.

C값을 바꾸는 가장 쉬운 방법 중의 하나는 평행판 축전기에서 마주보고 있는 평행판의 면적을 변화시키는 것이다. 왜냐하면 면적이 클수록 더 많은 (+)전하와 (−)전하를 저장할 수 있어 C값도 커지기 때문이다.

그림 Ⅲ-70은 옛날에 사용하던 가변 축전기이다. 즉, 축전기를 돌리면 날개와 같은 금속판이 돌아가면서 서로 마주보면 금속판의 면적이 달라져 C값이 변한다. 이렇게 C값을 변화시키면서 원하는 방송의 주파수만 선택할 수 있다.

3. 라디오파에 실린 소리 신호

전자기파에 소리 신호를 싣는 데에는 두 가지 방법이 있다. 첫 번째는 그림 Ⅲ-71과 같이 전자기파의 진폭을 주기적으로 변화시키는 것이다.

그림 Ⅲ-71의 (가)와 같은 소리 신호에서 마루 부분은 밀한 부분이고, 골 부분은 소한 부분이다.

그림의 (나)와 같이 전자기파에 음성 신호를 실으면 진폭 변화가 큰 부분이 소리 신호의 밀한 부분이고, 진폭 변화가 작은 부분은 소한 부분이다. 이처럼 진폭의 변화로 소리 신호를 싣는 방법을 **진폭 변조**라고 한다.

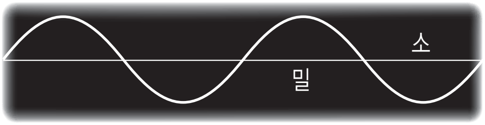
전자기파에 소리 신호를 싣는 두 번째 방법은 그림 Ⅲ-72와 같이 전자기파의 주기를 변화시키는 것이다.

그림 (나)에서 전자기파의 주기가 짧아 촘촘한 부분이 음파의 밀한 부분이고, 성긴 부분이 음파의 소한 부분이다. 이처럼 주파수의 변화로 소리 신호를 싣는 방법을 **주파수 변조**라고 한다.

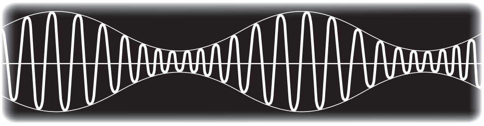
AM 라디오 방송국에서는 진폭 변조를 주로 사용하고, FM 라디오 방송국에서는 주파수 변조를 주로 사용한다.

AM과 FM

AM은 Amplitude Modulation(진폭 변조)이라는 영어의 첫 자를 딴 것이고, FM은 Frequency Modulation (주파수 변조)이라는 영어의 첫 자를 딴 것이다.

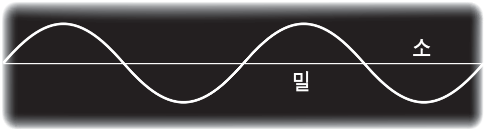


(가) 소리 신호

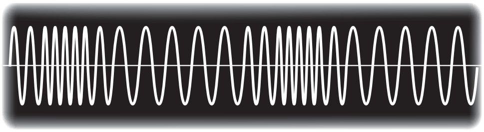


(나) 진폭 변조파

그림 Ⅲ-71 진폭 변화로 소리 신호를 실은 전자기파



(가) 소리 신호



(나) 주파수 변조파

그림 Ⅲ-72 주파수 변화로 소리 신호를 실은 전자기파

4. 전자기파에 실린 디지털 신호

AM 라디오나 FM 라디오 전파에 실린 소리 신호는 연속적으로 변화하는 신호이므로 아날로그 신호라고 한다. 그러나 전자기파에는 디지털 형태로 신호를 실어 보낼 수도 있다.

디지털 신호란 0과 1로 구성된 신호를 의미한다. 0과 1에 해당되는 정보는 전류가 흐르거나 흐르지 않게 하는 방법으로 할 수도 있고, 전자기파의 신호를 보내지 않거나 보내는 방식으로 할 수도 있다.

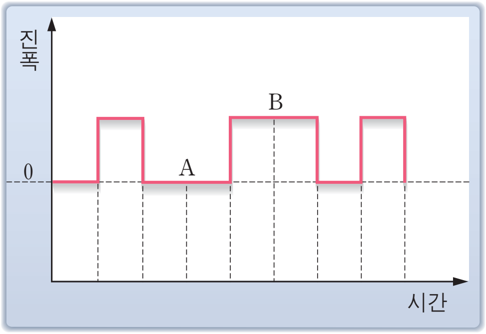


그림 Ⅲ-73 디지털 신호의 예

예를 들어 전자기파를 그림 Ⅲ-73과 같이 톱니 모양의 신호로 보내면, A 부분은 0이고, B 부분은 1이 된다. 따라서 그림의 신호는 01001101이다.

디지털 신호를 받은 수신부에서는 디지털 신호의 0과 1의 조합을 보고 정보를 읽게 된다.

예를 들면 흔히 사용하는 숫자 0, 1, 2, 3, 4, 5는 디지털 신호에서는 2진법을 사용하여 표 Ⅲ-7과 같이 표현한다.

따라서 디지털 신호를 4개씩 묶으면, 01001101의 처음 4개가 0100이므로 일반적으로 사용하는 숫자인 4에 해당된다.

리모컨에서 나오는 적외선 신호는 적외선 다이오드에서 나온다. 이렇게 나온 적외선 신호는 우리 눈에는 보이지 않지만 태양 전지에서는 전기 신호로 바꿀 수 있었다. 마찬가지 원리로 그림 Ⅲ-74와 같이 적외선 감지기에서도 적외선 신호를 전기 신호로 바꿀 수 있다.

표 Ⅲ-7 2진법으로 나타낸 디지털 신호

일상적인 숫자	디지털 신호
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
⋮	⋮

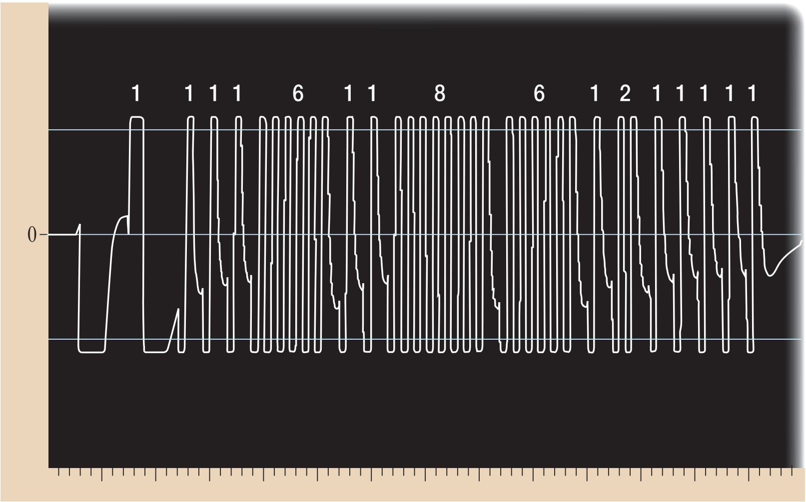


그림 Ⅲ-74 적외선 감지기

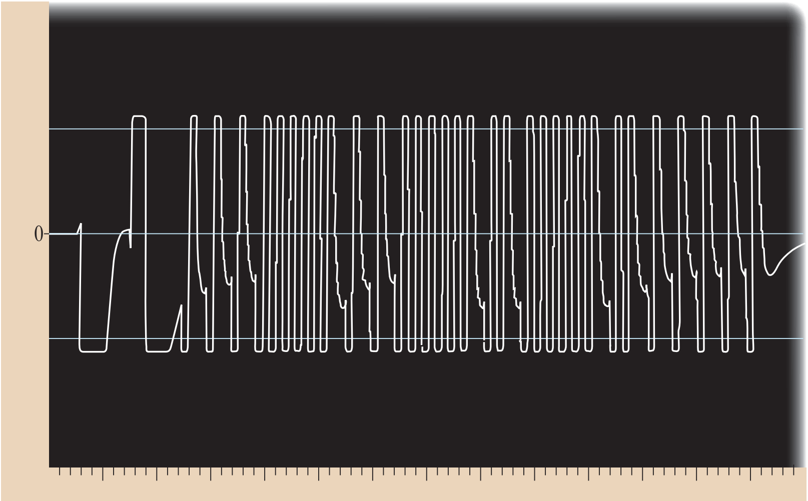
연구 15. 일반 6석 트랜지스터 라디오의 뚜껑을 열고 속 부분을 관찰해서 LC 회로로 구성된 부분을 찾아보자.

탐구 31 **자료 해석** **리모컨의 디지털 신호**

자 료 • 다음 그림은 음향 분석 프로그램을 이용하여 리모컨의 소리 신호를 나타낸 것이다. (가)는 리모컨의 1번, (나)는 2번을 눌렀을 때를 나타낸 것이다.



(가)



(나)

정 리 1. 그림 (가), (나)에서 디지털 신호를 0과 1로 표시해 보자.
2. 리모컨 1번과 2번은 어떤 차이가 있는지 설명해 보자.

5. 방송의 원리와 무선 통신

방송에서 전파를 발생시키기 위해서는 기본적으로 LC 회로를 사용하고, 전파를 수신하기 위해서도 LC 회로를 사용한다. 그림 Ⅲ-75는 LC 회로를 이용한 가장 간단한 라디오의 전파 수신 회로이다. 이러한 라디오는 전원이 없이도 사용할 수 있다.

무선 방송에는 라디오 방송과 TV 방송 그리고 최근에는 DMB나 위성 방송 등이 있다. 라디오 방송이나 TV 방송은 아날로그 신호를 전자기파에 실어 보내지만, DMB나 위성 방송은 디지털 신호를 전자기파에 실어 보낸다.

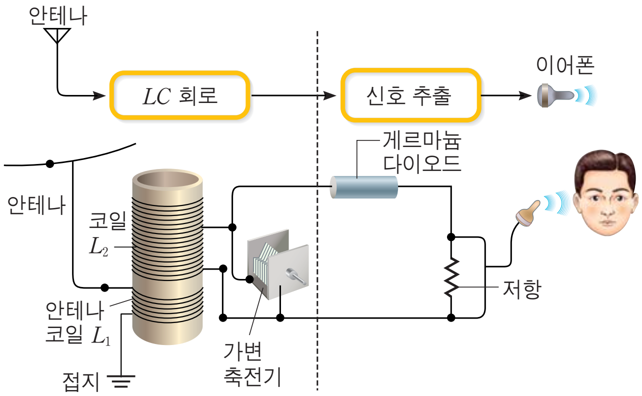


그림 Ⅲ-75 라디오의 전파 수신 과정

DMB 위성 방송을 위해서는 그림 Ⅲ-76과 같이 방송국에서 제작한 프로그램을 디지털 신호로 바꾸어 13,824~13,849 GHz 또는 13,858~13,883 GHz 주파수 범위의 전파로 위성으로 보낸다. 위성에서는 이 신호를 2,630~2,655 GHz 주파수 범위의 전파로 휴대 전화나 차량용 수신기에 직접 보내기도 하고, 지상에 있는 중계기로 12,214~12,239 GHz 주파수 범위의 전파를 보낸 후에 중계기에서 다시 휴대 전화 등으로 전파를 보낸다.

DMB

DMB는 영어 디지털 멀티미디어 브로드캐스팅(Digital Multimedia Broadcasting)의 머리글자를 딴 것이다. 방송과 통신이 결합된 새로운 개념의 이동 멀티미디어 방송 서비스로, 휴대 전화와 같은 통신 장비에서 방송을 볼 수 있도록 한 것이다. DMB 방송은 지상파 DMB와 위성 DMB가 있다. 지상파 DMB의 경우에는 현재 누구나 시청이 가능하다.

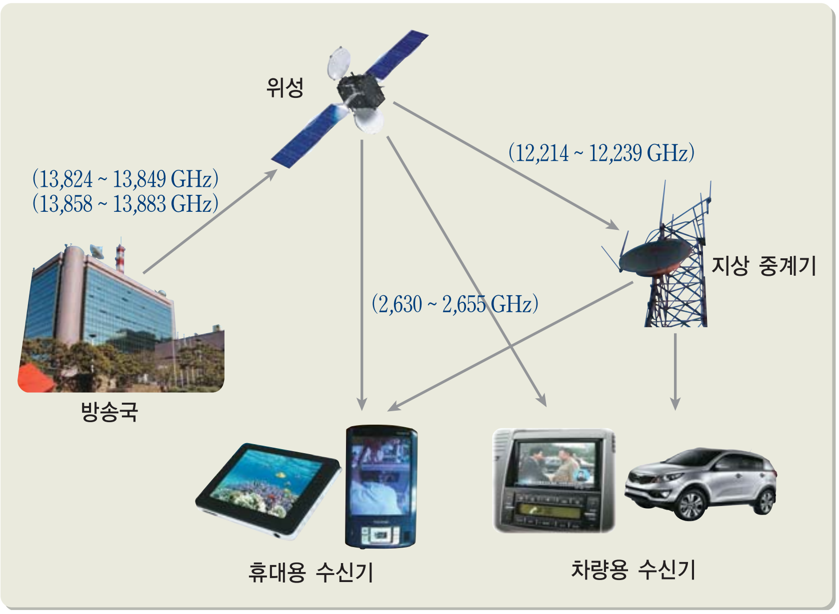


그림 Ⅲ-76 위성 DMB 방송 신호의 흐름

무선 통신은 1895년 이탈리아의 마르코니에 의해 최초로 시작되었고, 1901년에는 대서양을 횡단하는 무선 통신에도 성공하였다. 우리나라는 1910년도부터 무선 통신을 시작하였고, 1972년도부터는 군과 경찰에서만 사용되던 무전기가 일반인에게도 사용되도록 허용되면서 무선 통신이 일반화되기 시작하였다. 이후에 무선 호출기가 사용되기 시작하면서 일반인들에게 무선 통신이 일상화되기 시작하였다. 그리고 가정용 무선 전화기, 휴대 전화로 확대되어 사용되기 시작하였고, 최근에는 스마트폰 등에서 무선 통신이 활발하게 사용되기 시작하였다.



마르코니(Marconi, G.; 1874~1937)

이탈리아의 전기 기술자이자 발명가. 1895년 22세의 나이로 무선 통신에 성공하고 5년 후 대서양 횡단 무선 통신에도 성공하였다. 이러한 공로로 1909년 노벨 물리학상을 수상하였다.

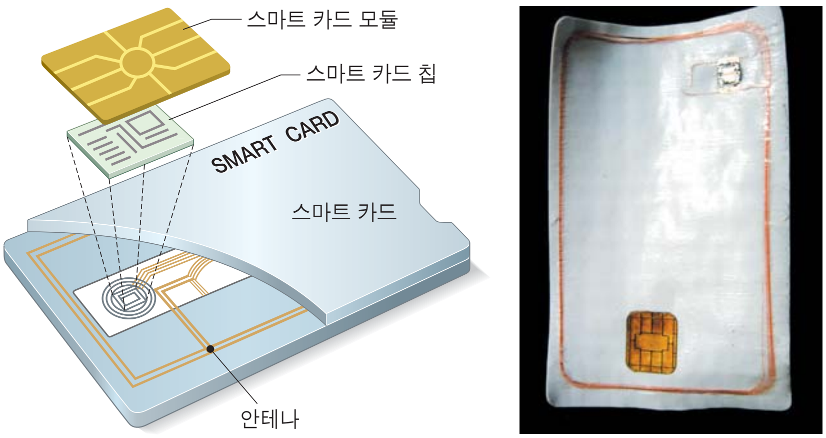
6. 교통 환경에서 사용되는 여러 가지 전자기파 신호

일상생활에서는 전자기파에 여러 가지 정보를 실어 주고 받는다. 예를 들어 자동차를 생각해 보자. 그림 Ⅲ-77과 같이 자동차에 부착된 내비게이션에서는 자동차의 위치를 파악하기 위해 위성으로부터 신호를 받는데, 이때 사용하는 신호에 마이크로파를 이용한다.



그림 Ⅲ-77 내비게이션과 위성 신호

버스를 탈 때에는 교통 카드를 이용한다. 교통 카드와 같은 스마트 카드는 판독기에 가까이 가져가기만 해도 정보를 주고받을 수 있다. 즉 접촉하지 않고도 정보를 주고받을 수 있는 것은 스마트 카드와 판독기가 전자기파로 정보를 주고받기 때문이다. 따라서 그림 Ⅲ-78의 (가)와 같은 스마트 카드 내부에서는 그림 (나)와 같이 사각형 코일로 이루어진 안테나가 있다. 이 안테나에서 전자기파 신호를 발생시켜 판독기로 보내고, 또 판독기에 보낸 신호를 이 안테나로 받을 수 있는 것이다.



(가) 스마트 카드의 구조 (나) 스마트 카드 내부의 안테나

그림 Ⅲ-78 비접촉식 스마트 카드

그림 Ⅲ-79와 같이 고속도로 요금을 자동으로 계산해 주는 하이패스 카드도 이러한 스마트 카드의 일종이다. 단지 카동차에 부착된 카드와 요금 계산기와의 거리가 좀 더 멀기 때문에 전자기파의 신호를 강하게 해 줄 필요가 있다는 점에서 차이가 있을 뿐이다.

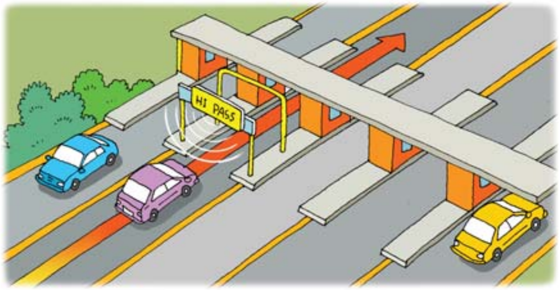


그림 Ⅲ-79 요금소와 하이패스 카드와의 신호 전달

RFID(무선 인식)에서도 이러한 사각 안테나를 이용하여 전자기파 정보를 주고 받는다. 그림 Ⅲ-80과 같이 상품을 보면 테이프처럼 얇은 RFID 태그라고 하는 것이 부착된

경우가 있다. RFID 태그 속에는 전자기파 정보를 주고받기 위한 사각 코일과 상품의 정보를 저장하는 메모리가 내장되어 있다. 따라서 이러한 RFID 태그를 부착한 상품이 그림 Ⅲ-81과 같이 리더 근처를 지나가면, 리더에서 상품에 대한 정보를 무선으로 읽고, 그 정보를 호스트에 보내 상품에 대한 정보를 처리하고 저장하게 된다.

리더에서 RFID에서 보낸 전자기파 정보를 인식하기 위해서는 리더 속에도 사각 코일로 된 안테나가 필요하다.

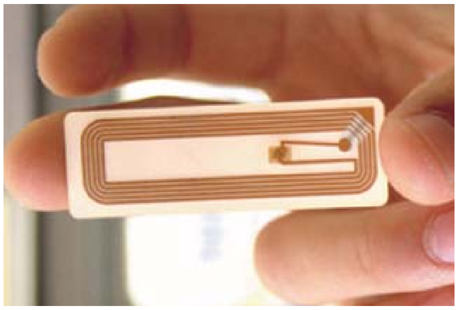


그림 Ⅲ-80 RFID 태그

RFID는 Radio Frequency IDentification의 약자이다.

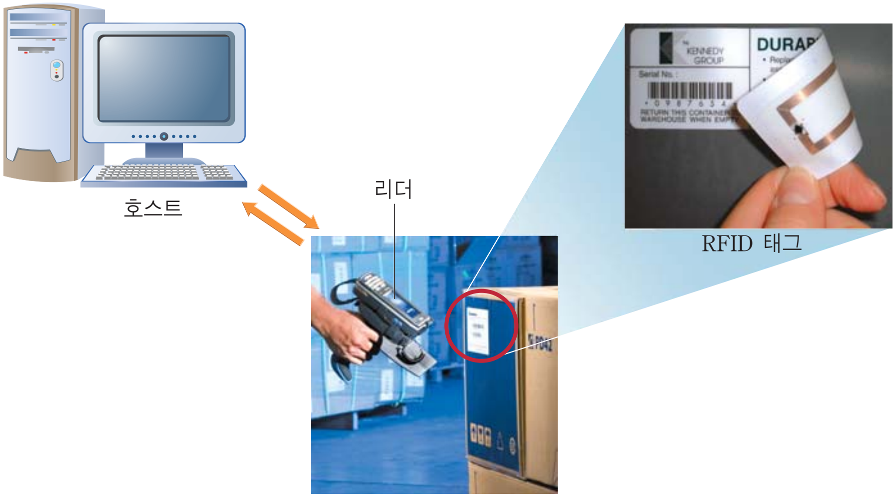


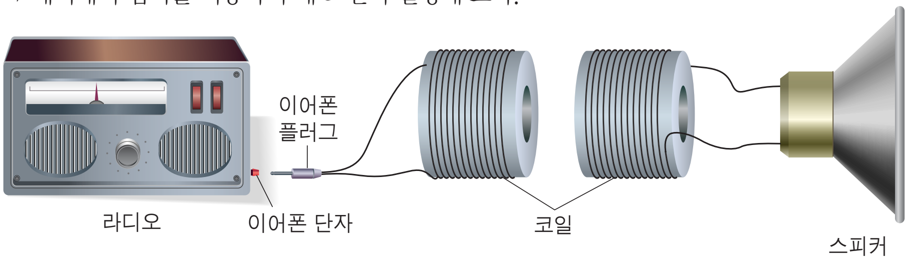
그림 Ⅲ-81 RFID에 의한 정보의 인식

다음 탐구에서 RFID와 같이 코일을 이용하여 무선으로 음악 소리를 전달해 보자.

탐구 32 해 보기 무선으로 음악듣기

준비물 라디오, 이어폰 플러그, 코일 두 개, 스피커

과 정 1. 그림과 같이 코일을 이어폰 플러그에 연결한 다음, 플러그를 라디오 이어폰 단자에 꽂는다.
2. 다른 하나의 코일을 스피커에 연결한다.
3. 두 개의 코일을 서로 가까이 놓거나 위아래로 쌓아놓는다.
⇨ 코일이 서로 접촉하지 않아도 라디오 소리를 들을 수 있는가?
⇨ 패러데이 법칙을 이용하여 왜 그런지 설명해 보자.





5 정보의 저장

학습 목표

1. 자기적인 성질을 이용한 정보의 저장 방식을 이해하고 활용 사례를 설명할 수 있다.
2. 전기적인 성질을 이용한 정보의 저장 방식을 이해하고 활용 사례를 설명할 수 있다.
3. 빛을 이용한 정보의 저장 방식을 이해하고 활용 사례를 설명할 수 있다.

전자기파는 일상생활 속에서 정보를 주고받는데 매우 유용한 도구임을 알았다. 그리고 그러한 전자기파의 신호를 주고받는 데에는 기본적으로 LC 회로에 연결된 안테나를 통한다는 것도 배웠다.

여기에서는 이러한 방식으로 수신한 정보를 저장하는 정보 저장 매체의 구조와 원리를 알아보자.

1. 자기적 성질을 이용한 정보의 저장

자기장의 성질을 이용한 정보의 저장은 오래 전부터 사용되어 왔던 방법 중의 하나이다. 지금은 잘 사용하지 않지만, 카세트테이프나 비디오테이프에서는 바로 자기적인 성질을 이용하여 정보를 저장하였다. 거의 같은 방식으로 정보를 저장한 것으로는 그림 그림 Ⅲ-82의 (가), (나)와 같이 플로피 디스크와 하드 디스크가 있다. 또 그림 (다)와 같이 체크 카드나 신용 카드 뒷면에 붙어있는 자기 테이프에도 같은 방식으로 정보를 저장한다.



(가) 플로피 디스크

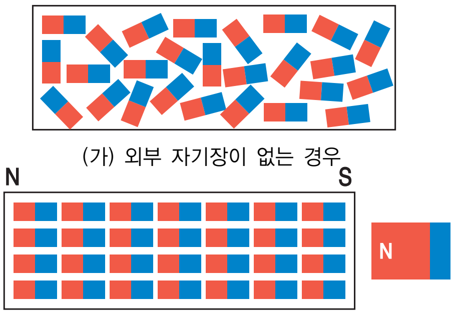


(나) 하드 디스크



(다) 신용 카드

그림 Ⅲ-82 플로피 디스크와 하드 디스크 및 신용 카드



(가) 외부 자기장이 없는 경우

(나) 외부 장기장이 있는 경우

그림 Ⅲ-83 자기 테이프 속의 작은 자석의 배열

자기적인 정보를 저장하고 읽는 원리는 간단하다.

철가루 주위에 자석을 가까이하면 철가루가 달라붙어 일정하게 배열된다. 만일 그림 Ⅲ-83과 같이 잘게 부순 자석 가루를 얇은 플라스틱 판 위에 접착제를 함께 발라 놓으면 자석을 가까이할 때 자석 가루가 자석에 의해 배열하게 된다. 같은 극이면 반대 방향으로 배열할 것이고, 반대 극이면 같은 방향으로 배열한다. 이처럼 자기 테이프는 얇은 플라스틱 테이프 위에 미세한 가루 자석을 붙여놓은 것이다.

그림 Ⅲ-84는 코일에 전류가 흐르는 전자석이 자기 테이프 위에 놓여 있는 것을 나타낸 것이다. 전자석에 전류가 흐르면 a 부분의 자기장에 의해 자기 테이프의 b 부분에서 자석 가루가 배열된다. 이때 전류의 방향이 바뀌면 자석 가루의 배열 방향도 바뀐다. 또 전류가 세게 흐르면 배열이 잘 되고, 전류가 약하게 흐르면 배열이 잘 되지 않는다.

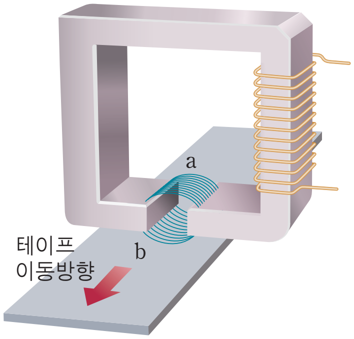


그림 Ⅲ-84 전자석에 흐르는 전류에 의해 자기 테이프에 정보를 기록하는 과정

만일 음성 신호가 실린 전류가 전자석에 흐르면 음성 신호에 따라 전류의 세기가 세게 흐르거나 약하게 흐를 것이고, 또 전류의 방향도 바뀌면서 흐를 것이다. 이러한 음성 신호가 실린 전류가 흐르는 동안, 자기 테이프가 이동하면 자기 테이프 위에는 철가루가 배열되어 남게 된다. 강하게 배열되거나 약하게 배열되기도 하고, 배열 방향이 바뀌기도 하면서 배열 상태가 남게 된다.

그림 Ⅲ-85는 이러한 방식으로 자기 테이프에 기록된 정보를 표시한 것이다. 그림 (가)의 화살표 방향은 자석 가루의 배열된 방향을 나타내고, 화살표의 길이는 배열된 강도를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 작은 가루 자석을 작은 막대 자석이라 보고 작은 막대 자석이 배열된 모습을 나타낸 것이다.

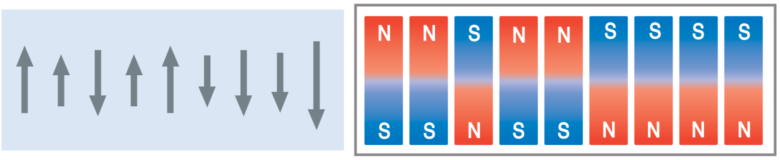


그림 Ⅲ-85 자기 테이프에 기록된 정보

다음 탐구에서는 간단하게 플로피 디스크나 지하철 표 등에 저장된 정보를 관찰하여 보자.

탐구 33 해 보기 자기 정보 관찰하기

준비물 플로피 디스크, 지하철 표나 신용 카드, 가는 철가루, 액체 자성체

과 정



1. 신용 카드나 지하철 표에 붙어 있는 자석 띠에 가는 철가루를 떨어뜨려 보자.
   ⇨ 자석 띠의 자기 정보가 눈에 보이는가?
2. 플로피 디스크를 분해해서 안에 들어 있는 검은 원판의 자기판을 분리하자.
3. 액체 자성체를 이쑤시개에 조금씩 묻혀서 플로피 디스크에 묻혀 보자.
   ⇨ 플로피 디스크의 자기 정보를 관찰할 수 있는가?

주의 액체 자성체가 디스크 위에 가능하면 넓고 얇게 잘 퍼지도록 바른다.

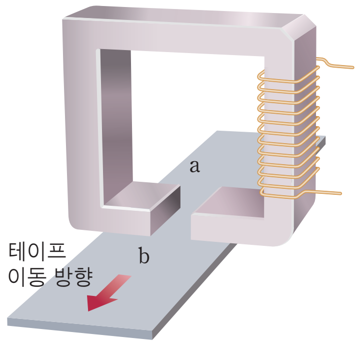


그림 Ⅲ-86 자기 테이프의 자기 신호를 전기 신호로 바꾸는 과정

자기 테이프에 저장된 정보를 읽기 위해서는 패러데이 법칙을 이용한다. 패러데이 법칙은 코일 속이나 코일 주변에서 자석이 움직이면 자기장의 변화에 의해 코일에 유도 전류가 흐르는 현상을 설명한다.

그림 Ⅲ-86은 정보가 기록된 자기 테이프가 전자석의 a 부분을 지나는 순간을 나타낸 것이다. 그러면 자기 테이프의 b 부분에 배열된 자석 가루들에 의해 a 부분의 자기장이 변한다. 이러한 자기장 변화에 의해 코일에 유도 전류가 흐른다.

만일 자기 테이프의 자석 가루의 배열이 강하게 되어 있으면 자기장 변화도 크므로 센 유도 전류가 생긴다. 또 자석 가루의 배열 방향이 바뀌게 되면 유도 전류의 방향도 바뀐다. 이러한 방식으로 자기 테이프에 저장된 신호를 전기 신호로 바꿀 수 있다.

2. 전기적 성질을 이용한 정보의 저장

클립은 자석이 아니지만 그림 Ⅲ-87의 (가)와 같이 자석을 가까이하면 자기화되어 자석이 된다. 마찬가지로 부도체도 전기를 띠지 않지만 그림 (나)와 같이 강한 전기장 속에 놓이면 유전 분극에 의해 전기를 띤다.

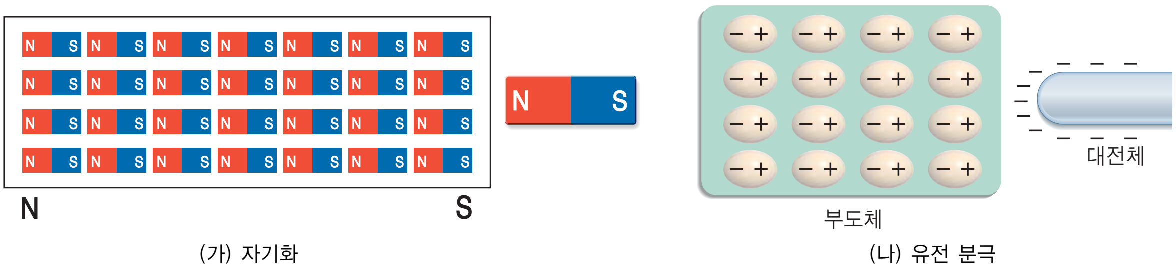


그림 Ⅲ-87 자기화와 유전 분극

자기화된 물질은 자석을 멀리하면 보통은 원래 상태로 되돌아가지만 철, 코발트, 니켈과 같은 강자성체는 자석을 멀리해도 자기화된 상태가 그대로 남아 자석의 성질을 계속 유지한다. 예를 들어 클립은 자석으로 문지르고 나서 자석을 멀리해도 클립이 자석이 된 채로 남아 있게 된다.

부도체도 보통은 전기장 속에서는 유전 분극에 의해 전기를 띠지만 전기장이 없어지면 원래 상태로 되돌아가 전기를 띠지 않는다. 그러나 어떤 부도체는 전기장이 없어져도 유전 분극된 상태가 그대로 유지되면서 전기를 계속 띤다. 이러한 물질을 **강유전체**라고 한다. 예를 들면 타이타늄산바륨($BaTiO_3$)과 같은 물질이 강유전체로 알려져 있다.

강유전체는 전기장을 걸어 유전 분극시켜 전기를 띠게 한 후에 전기장을 제거하여도 그대로 전기를 띤 채로 유지되기 때문에 메모리 소자로 활용되고 있다. 예를 들면

플래시 메모리가 대표적이다.

전기적 성질을 이용하여 정보를 저장하는 방법으로는 축전기를 이용하여 전하를 저장하는 방식도 있다. 즉 전하가 저장된 경우를 1로, 전하가 저장되지 않은 경우를 0으로 인식하는 것이다. D램이 바로 이러한 방식으로 정보를 저장하는 메모리이다.

그러나 축전기에 저장된 전하는 쉽게 방전이 일어나 저장된 정보를 오랫동안 유지시킬 수 없다. 그래서 **휘발성 메모리**라고 한다. 그러나 강유전체를 사용한 메모리에서는 전기를 띤 상태가 그대로 영구적으로 유지되기 때문에 **비휘발성 메모리**라고 한다. 그림 Ⅲ-88은 각종 전자 제품에 내장된 강유전체 방식의 플래시 메모리이다.



그림 Ⅲ-88 전기적 성질을 이용한 저장 매체

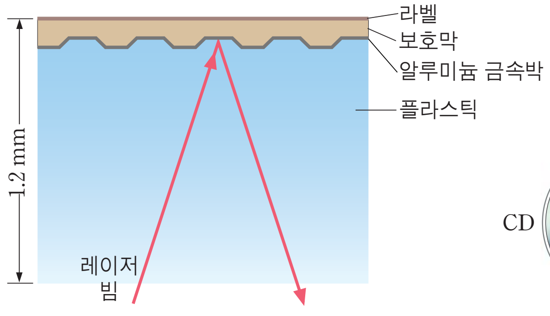
3. 빛을 이용한 정보의 저장

빛을 이용한 정보 저장 장치로 대표적인 것에 CD가 있다. CD는 1980년대에 개발된 이후로 현재까지도 우리 일상생활에서 널리 사용되고 있다. 표준 CD의 지름은 120 mm이고, 두께는 1.2 mm이다. CD의 구조는 그림 Ⅲ-89의 (가)와 같이 가장 아랫면, 즉 투명하게 무지개 색이 반짝이는 플라스틱 면 위에 얇은 알루미늄 금속박이 덮고 있으며, 보호막과 인쇄 라벨이 그 위에 있다. 레이저 빔은 아래에서 들어가 알루미늄 금속박에서 반사하도록 되어 있다. 알루미늄 금속박의 홈에 정보가 저장되어 있으므로 CD를 잘 보관하기 위해서는 투명한 아랫면보다는 라벨이 인쇄되어 있는 윗면을 더 잘 보호해야 한다.

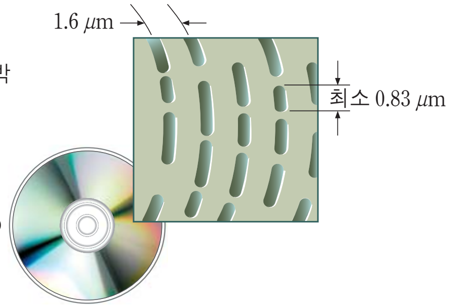
알루미늄박에 새겨진 홈을 현미경으로 보면 그림 (나)와 같다. 이 홈에 레이저 빛이 반사되면서 정보를 읽게 되는데, 이 홈의 길이는 최소 $0.83\ \mu m = 0.83 \times 10^{-6}$ m이고, 홈 사이의 간격은 보통 1.6 μm이다.

DRAM
(Dynamic Random Access Memory의 첫 자를 딴 말이며, 동적 랜덤 액세스 메모리라고 한다.

콤팩트디스크(CD, Compact Disk)
광신호로 기록된 음악이나 영상 따위의 정보를 재생하는 새로운 방식의 재생 기기. 디스크의 마모가 거의 없고, 수록할 수 있는 정보의 양이 많으며, 정보 재생을 깨끗하게 할 수 있는 장점이 있다.



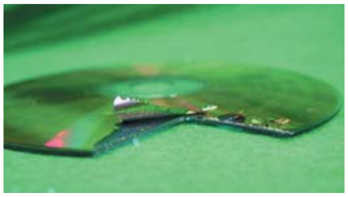
(가) CD의 수직 구조



(나) CD의 표면

그림 Ⅲ-89 CD의 구조

❓ 물음 11. 오른쪽 그림과 같이 CD에서 인쇄된 윗면의 표면을 벗겨 보면 알루미늄 금속박이 보이는가? 또, CD를 보관할 때 투명하게 반짝이는 아랫면보다, 인쇄되어 있는 윗면을 더 보호해야 하는 까닭은 무엇인가?



CD에 녹음할 때에는 소리를 스테레오 좌우 각각 초당 44,100회 측정하여, 이것을 0과 1의 이진수로 바꾸어 그 신호를 CD에 기록하게 된다. 이렇게 많은 측정을 하여 CD에 정보를 기록하였기 때문에 일부 신호가 손실되어도 음악을 듣는 데 큰 지장이 없다. 그러나 나선형으로 긁힌 경우에는 음악을 듣는 데 지장을 줄 수 있다. 따라서 CD를 닦을 때는 원형으로 돌리면서 닦지 말고, 중심에서 바깥쪽으로 닦아야 한다.

실제로 CD의 일부가 잘라져도 소리가 들릴지 다음 탐구를 통해 알아보자.

탐구 34 해 보기 잘려진 CD 음악 듣기

준비물 음악 CD, 칼, CD 재생기

과 정

1. 오른쪽 그림과 같이 CD의 일부를 칼로 잘라보자.

   주의 CD를 자를 때 손이 베이지 않도록 주의한다. 그리고 자른 면이 울퉁불퉁하여 CD 재생기를 고장내지 않도록 한다.

2. 잘려진 CD를 CD 재생기에서 작동시켜 보자.

   ⇨ 음악 소리가 잘 들리는가? 그 까닭을 설명해 보자.



탐구 34와 같이 CD 일부가 잘려도 소리를 들을 수 있다. 그러면 CD에 기록된 정보는 어떻게 읽을까?

CD의 정보를 읽기 위해 사용하는 레이저의 파장은 공기 중에서 780 nm이고, CD 플라스틱 내부에서는 파장이 503 nm로 줄어든다. CD에 저장된 정보를 읽기 위해서는 빛의 간섭 현상을 이용한다.

간섭 현상이란 두 빛이 만나서 중첩이 될 때, 마루 부분과 마루 부분이 만나 진폭이 커지거나 마루 부분과 골 부분이 만나 진폭이 작아지는 현상을 의미한다.

DVD와 HD

DVD는 Digital Versatile(다재다능한) Disk, 또는 Digital Video Disk의 약자이고, HD는 High Fidelity(정확하게 출력되는 정도를 나타내는 전문 용어)의 약자이다.

CD에서 홈의 깊이는 레이저 빛 파장의 $\frac{\lambda}{4}$로 만들어져 있다. 그림 Ⅲ-90에서 A빛과 B빛이 반사되어 서로 만나면 반파장만큼 차이가 나므로 소멸 간섭이 일어난다. 그러나 C빛과 D빛이 반사되어 만나는 경우에는 보강 간섭이 일어난다. 따라서 A빛과 B빛이 만나는 경우에는 신호 0에 해당하고, C빛과 D빛이 만나는 경우에는 신호 1에 해당한다. 이러한 신호를 받아서 CD에 기록된 정보를 읽는다. 실제로 다음 탐구처럼 레이저 봉으로 CD를 비추면 빛이 반사되어 보강 간섭이 일어나는 것을 관찰할 수 있다.

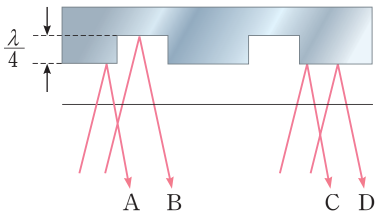


그림 Ⅲ-90 CD에서 레이저 빔의 반사

탐구 35 해 보기 **CD에서의 빛의 반사**

- **준비물** CD, 레이저 지시봉

- **과 정**
  - 오른쪽 그림과 같이 CD 아랫면에 레이저 빛을 비추고 반사된 빛을 벽면에 맺히도록 하자.

    ⇨ 벽면에 반사된 빛이 어떻게 보이는가? 또 밝은 점은 보강 간섭이 일어난 곳으로, 어두운 곳은 소멸 간섭이 일어난 곳으로 볼 수 있는가?



과학과 **생활**

DVD



DVD의 모습은 일반 CD와 같다. 직경이 120 mm(4.75인치)로 CD와 크기도 같고 얇은 알루미늄 원판에 덧씌워진 플라스틱 보호막도 같다. 두께 또한 1.2 mm로 CD와 DVD는 같다. 그러나 알루미늄 1장으로 되어 있는 CD와는 달리 DVD는 2장이 붙어 있으며, 그 내부의 구조 또한 CD와는 차이가 난다. 이 한 면에 수록 가능한 양은 일반 CD의 7배 정도로 약 135분짜리 영화(4.7 GB)를 자막과 더빙을 포함하여 담아 낼 수 있다. 이러한 DVD의 외형상 장점은 보관의 편리, 내구성, 내자기성, 내열성 등의 견고함 등을 들 수 있다. 내부의 데이터를 보호하기 위해 플라스틱으로 코팅된 DVD는 칼로 긁어내지 않는 한 수록된 데이터의 손실이 없다.

보통 CD에 저장할 수 있는 정보의 용량은 700 MB 정도이지만, 최근에는 용량이 4.7 GB나 8.4 GB의 대용량 DVD를 사용한다. 8.4 GB DVD는 HD급 화질로 영화를 녹화할 수 있다.



6 전반사와 광통신

학습 목표

1. 전반사 현상을 관찰하고 원리와 특징을 설명할 수 있다.
2. 광섬유 등에서 전반사가 어떻게 일어나는지 설명할 수 있다.
3. 광통신을 체험하고 기본 원리를 설명할 수 있다.

빛은 다른 매질을 만나면 반사와 굴절이 일어난다. 그러나 특정한 조건에서는 반사만 일어날 수 있다. 이러한 현상을 이용하면 빛을 외부로 빠져 나가지 못하게 할 수 있다.

여기에서는 이러한 현상을 관찰하고 이 현상이 어떻게 광통신에 활용되는지를 알아보자.

1. 전반사

빛은 매질이 다른 물질로 입사할 때 반사와 굴절이 일어나지만 굴절은 일어나지 않고 반사만 일어나는 경우가 있다. 다음 탐구를 통해 그 까닭을 알아보자.

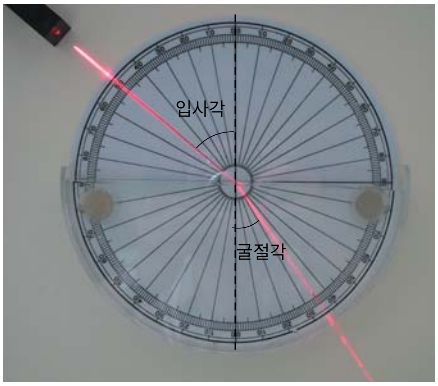
탐구 36 관찰 전반사 현상

준비물 각도기, 레이저 지시봉, 또는 레이저 빛 경로가 보이는 레이저 물, 반원형 물통

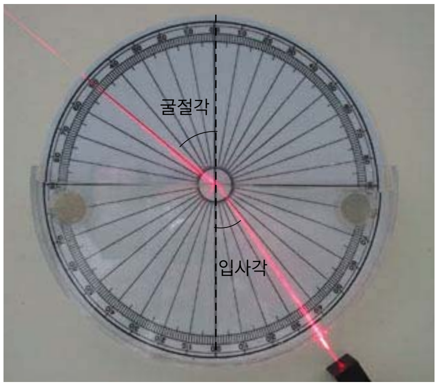
과 정

1. 다음 그림과 같이 반원형 수조에 물을 넣고, 레이저를 공기 중에서(수조의 평편한 면에서 입사) 물속으로 진행하도록 비추어 보자.
   ⇨ 입사각과 굴절각을 비교하면 어느 각이 더 큰가?
2. 입사각을 점점 더 크게 해보자.
   ⇨ 입사각을 크게 해도 항상 굴절되는 빛이 있는가?
3. 이번에는 레이저를 물속에서 공기 중으로(수조의 둥근면에서 입사) 진행하도록 비추어 보자.
   ⇨ 입사각과 굴절각을 비교하면 어느 각이 더 큰가?
4. 입사각을 점점 더 크게 해보자.
   ⇨ 입사각을 크게 하다 보면 굴절되는 빛이 없는 경우가 있다. 그 까닭을 굴절각의 변화로 설명해 보자.
   ⇨ 굴절되는 빛이 없어질 때의 입사각은 얼마인가?





(가) 공기 → 물



(나) 물 → 공기

그림 Ⅲ-91 빛의 굴절

빛은 공기와 같이 소한 물질에서 속력이 빠르지만 물과 같은 밀한 물질에서는 속력이 느려진다.

빛이 소한 물질에서 밀한 물질로 진행할 때에는 그림 Ⅲ-91의 (가)와 같이 빛의 속도가 더 느려지면서 굴절각이 입사각보다 항상 작다. 반대로 그림 (나)와 같이 밀한 물질에서 소한 물질로 빛이 진행할 때에는 빛의 속도가 더 빨라지면서 굴절각이 입사각보다 항상 크다.

물속에서 공기 중으로 빛이 진행할 때에는 입사각보다 굴절각이 더 크므로 입사각을 점점 더 크게 하면 그림 Ⅲ-92와 같이 굴절각이 90˚가 될 수 있다.

굴절각이 90˚가 된다는 것은 공기 중으로 나가는 빛이 없다는 것과 같다. 이때의 입사각을 **임계각**이라고 한다. 따라서 입사각을 임계각보다 더 크게 하면 더 이상 공기 중으로 굴절하여 들어가는 빛은 없고, 모든 빛이 물속으로 다시 반사되게 된다. 이러한 경우를 **전반사**라고 한다. 즉, 굴절되는 빛이 없이 모두 반사된다고 해서 전반사라고 부르는 것이다.

전반사의 주요 특징을 다시 정리하면 다음과 같다.

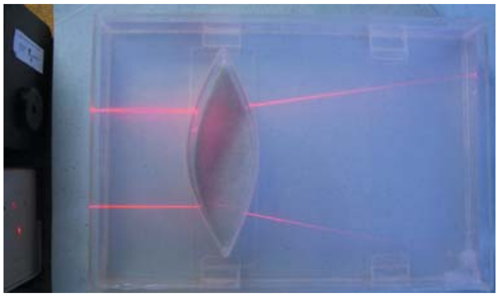
- 전반사란 굴절되는 빛이 없이 모두 반사만 되는 것을 말한다.
- 전반사는 빛이 밀한 매질에서 소한 매질로 진행하는 경우에만 일어난다.
- 전반사가 일어나기 시작할 때의 입사각을 임계각이라고 한다.

파동의 밀과 소

파동에서 밀한 물질이란 파동의 속력이 느려지는 물질로 정의하고, 소한 물질이란 파동의 속력이 빨라지는 물질로 정의한다.

빛은 공기보다 물에서 속력이 느려지므로 상대적으로 공기는 소한 물질이 되고, 물은 밀한 물질이 된다.

이처럼 밀과 소가 바뀌는 경우에는 굴절각이 입사각보다 클 수도 있고 작을 수도 있다. 따라서 일반적으로 유리 렌즈를 공기 중에 놓으면 평행하게 입사한 빛이 수렴하지만, 다음 그림과 같이 공기 렌즈를 유리 속에 놓으면 평행하게 입사한 빛이 오히려 발산한다.



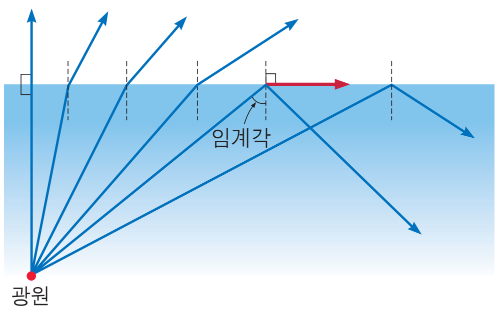


그림 Ⅲ-92 빛의 전반사 현상

연구 16. 촛불에 그을려 그을음이 묻은 유리판을 물속에 넣었다가 빼서 보면 그을음이 묻은 유리판이 거울처럼 반짝이는 현상을 볼 수 있다. 왜 그렇게 보이는지 설명해 보자.

탐구 37 관찰 다양한 전반사

준비물 원통형 수조, 사각 수조, 프리즘, 레이저, 우유, OHP 용지

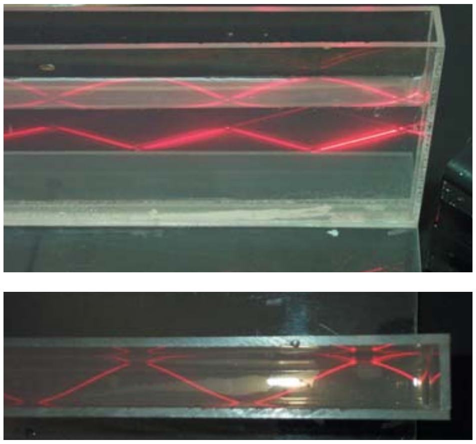
과 정

1. 다음 그림 (가)와 같이 물이 담긴 원통형 수조에 물속에서 레이저 빛의 경로가 잘 보이도록 약간의 우유를 넣고 위에서 레이저를 비추어 보자.
   주의 레이저 빛이 눈에 비치지 않도록 주의한다.
   ⇨ 위에서 보면 어떤 특징이 있는가?
2. 그림 (나)와 같이 사각 수조에 물을 넣고 한쪽 끝에서 레이저를 비추어 보자.
   ⇨ 왜 레이저 빛이 전반사하면서 진행하는가?
3. 그림 (다)와 같이 OHP 용지의 한쪽 끝에서 레이저 빛을 비추어 보자.
   ⇨ 왜 레이저 빛이 OHP 용지를 따라 휘어서 진행하는가?
4. 그림 (라)와 같이 프리즘으로 전반사 현상을 관찰해 보자.
   ⇨ 왜 전반사가 일어나는지 유리(또는 플라스틱)의 임계각을 찾아서 설명해 보자.

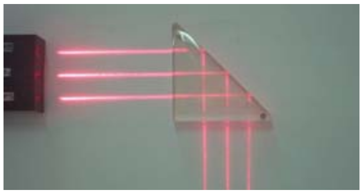
정 리

• 그 밖에 다양한 전반사 현상을 찾아서 관찰해 보자. 예를 들면 그을음을 묻힌 유리판을 물속에 담구어 관찰할 수도 있다.


(가)


(나)


(다)

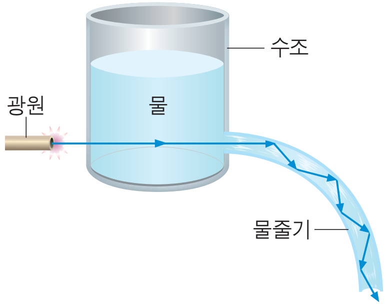

(라)

틴들(Tyndall, J.; 1820~1893)
영국의 물리학자. '틴들 현상'을 발견하여 하늘의 푸른빛이 미립자의 산란에 의한 것임을 설명하였으며, 결정체의 자기적 성질과 음양학 등을 연구하였다.

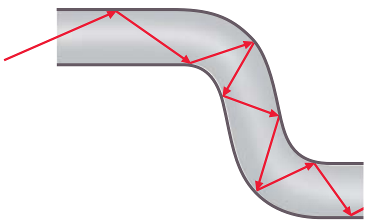
2. 광섬유

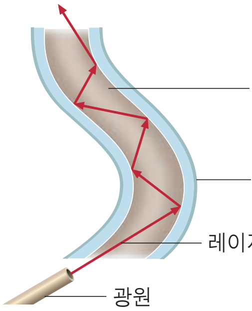
19세기에 틴들은 그림 Ⅲ-93의 (가)와 같이 빛이 물줄기를 따라 전반사하는 현상을 관찰하였다. 광섬유에서 빛이 전달되는 과정도 그림 (나)와 같이 물줄기 안에서 빛이 전달되는 과정과 같다. 따라서 광섬유는 빛을 전달하는 매체로 사용될 수 있다. 섬유와 같이 가늘고 휠 수 있다고 하여 섬유라는 말을 붙인 것이다. 광섬유의 표면은 거울이 아니지만, 전반사가 일어나도록 하여 광섬유를 통해 빛을 보낼 수 있다.

다음 탐구를 통해 광섬유에서의 전반사 현상을 관찰해 보자.



(가) 물줄기 안


(나) 광섬유 안



(다) 광섬유의 구조 및 원리

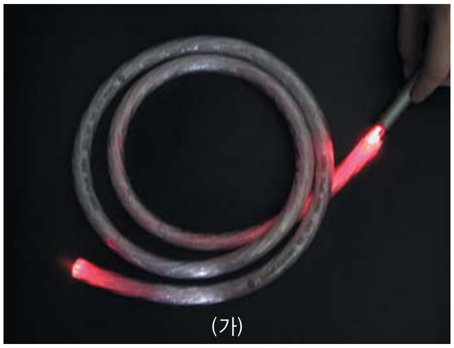
그림 Ⅲ- 93 빛의 전반사

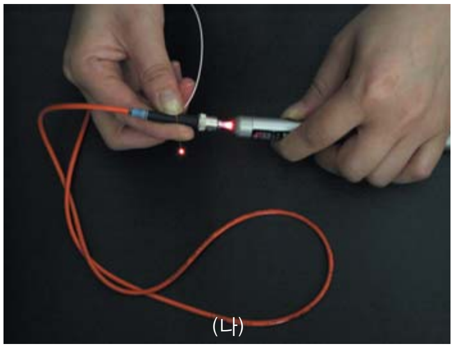
탐구 38 관찰 광섬유와 전반사 관찰

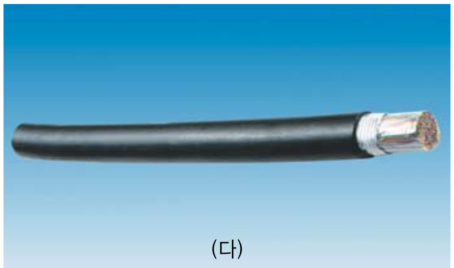
준비물 플라스틱 광섬유 다발, 통신용 광케이블, 랜 선, 레이저 지시봉

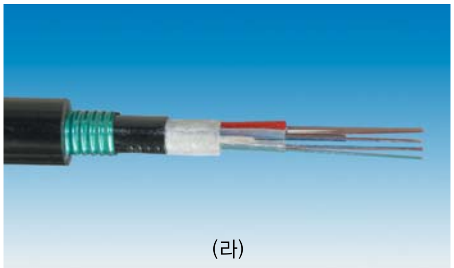
과 정

1. 그림 (가), (나)의 플라스틱 광섬유 다발과 랜 선의 한쪽 끝에서 레이저 빛을 비추어 보자.
   ⇨ 광섬유 반대쪽으로 레이저 빛이 나오는 것을 관찰할 수 있는가?
2. 그림 (다), (라)와 같이 통신용 광케이블의 색깔이 있는 피복을 벗겨 광섬유를 관찰해 보자.
   주의 광섬유 주변의 기름이 손에 묻지 않도록 주의한다.
   ⇨ 투명한 광섬유를 관찰할 수 있는가?


(가)


(나)


(다)


(라)

정 리

1. 과정 1의 광섬유 다발과 랜 선의 반대쪽에서 레이저 빛이 어떻게 나오는지 설명해 보자.
2. 광섬유를 둘러싸고 있는 플라스틱 색깔이 왜 다를까? 광케이블을 서로 연결할 때를 생각해 보자.
3. 광케이블 표면의 바로 안쪽에는 알루미늄 금속으로 둘러싸여 있다. 왜 알루미늄 금속을 사용했을까? 땅속에 케이블을 묻을 경우를 생각해 보자.

광섬유는 투명한 플라스틱으로 만들기도 하지만, 통신용으로는 주로 투명도가 좋은 유리로 만든다. 이러한 유리로 된 가는 투명한 실과 같은 부분을 코어(Core)라고 한다. 코어의 지름은 보통 0.1～1 mm로 매우 가늘게 만든다. 이렇게 가는 코어를 보호하기 위해 코어 주변을 유연한 합성수지로 감고 있는데, 이 부분을 클래딩(Cladding)이라고 한다. 이러한 광섬유를 여러 가닥을 함께 모아서 만들어진 것이 광케이블이다.


그림 Ⅲ-94 광섬유를 이용한 내시경

광섬유는 빛이 지나가면서 일부 빛이 흡수되어 밝기가 점점 약해지는 단점이 있다. 따라서 투명도가 좋은 광섬유를 개발하는 것이 필요하다. 현재의 광섬유는 100 km 깊이의 바다 속이 보일 수 있는 정도의 투명도를 가지고 있다고 한다. 그러나 해저 케이블과 같이 장거리용으로 사용하기 위해서는 광케이블 중간마다 약해진 빛을 증폭하는 장치를 설치하여야 한다.

광섬유는 통신용으로만 사용되는 것은 아니다. 대표적인 비통신용 활용 사례가 바로 그림 Ⅲ-94와 같은 내시경이나, 그림 Ⅲ-95와 같은 장식품이다.

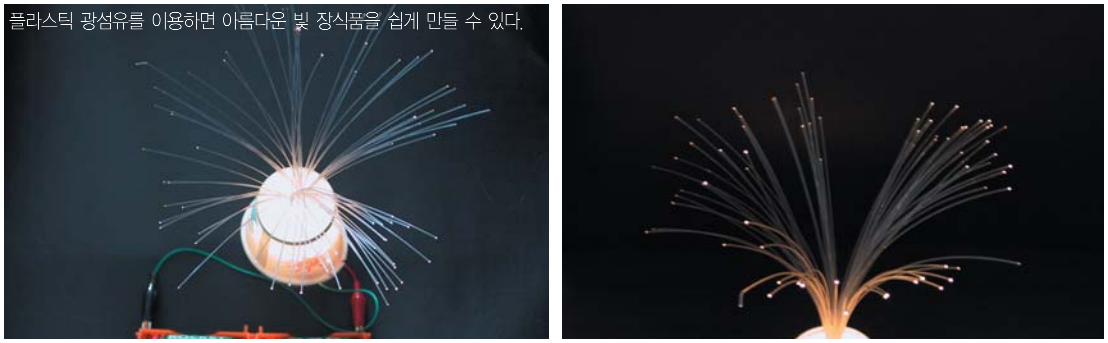


그림 Ⅲ-95 광섬유를 이용한 장식품

연구 17. 플라스틱 광섬유를 다발로 만들어 복사기의 100이라는 숫자를 보면 오른쪽 그림과 같이 반대편 영상이 보인다. 광섬유 다발을 어떻게 만들어야 이러한 관찰이 가능한지 생각해 보자.



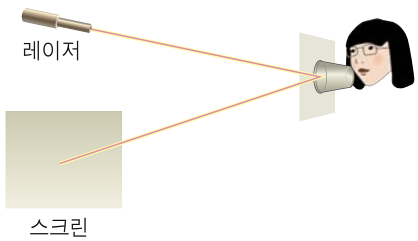
3. 광통신 체험

광통신은 현대 첨단 기술의 하나이다. 그러나 광통신을 처음 구현한 사람은 과학자 벨이었다. 그는 전기를 이용한 전화기를 만들어 1876년 특허를 받았다. 그러나 전화기뿐 아니라 1880년에는 빛으로 소리 신호를 보내는 광통신에도 성공하였다. 이때에는 광섬유를 사용하지 않고 공기 중으로 빛을 보내는 방식이었지만, 빛에 소리 신호를 실어서 멀리까지 보낼 수 있다는 점에서 광통신의 시초라고 할 수 있다.

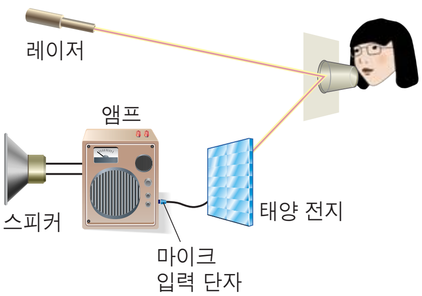
탐구 39 해 보기 광통신 체험

준비물 종이컵, OHP 용지, 태양 전지(1~3 V, 150~450 mA), 레이저 광원, 앰프, 마이크 입력 단자, 랜턴, 출력이 비교적 큰 라디오, 1차 코일, 2차 코일

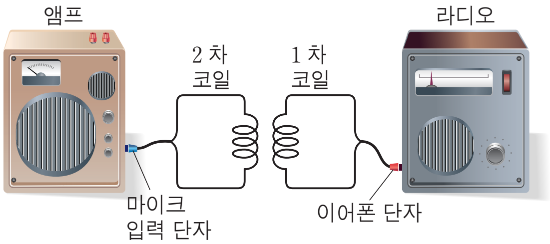
과 정
1. 종이컵의 아래쪽을 자르고, OHP 용지를 위쪽에 붙인다.
2. 그림 (가)와 같이 종이컵 아래 부분에 대고 말을 하면서 OHP 용지로 레이저를 반사시켜 보자.
   ⇨ 반사된 레이저 빛이 스크린에 어떻게 나타나는가?
3. 그림 (나)와 같이 태양 전지를 앰프의 마이크 입력 단자에 연결하고, OHP 용지에서 반사된 레이저 빛을 태양 전지에 비추어 보자.
   ⇨ 말을 할 때 앰프에서 소리가 나는가?
4. 레이저 대신에 랜턴 빛을 이용해 과정 3을 반복하여 보자.
   ⇨ 말을 할 때 앰프에서 소리가 나는가?
5. 그림 (다)와 같이 1차 코일은 라디오의 이어폰 단자에 연결하고, 2차 코일은 앰프의 마이크 입력 단자에 연결한 다음 라디오에서 나오는 음악 소리를 들어보자.
   ⇨ 음악 소리를 앰프에서 들을 수 있는가?
6. 그림 (라)와 같이 2차 코일을 앰프 대신에 랜턴에 연결한 후, 랜턴 빛을 앰프의 마이크 입력 단자에 연결된 태양 전지에 비추어 보자.
   ⇨ 음악 소리를 앰프에서 들을 수 있는가?
7. 과정 6에서 랜턴과 태양 전지 사이에 굵은 플라스틱 광섬유를 놓아 광섬유를 통해 레이저 빛을 보내 보자.
   ⇨ 음악 소리를 앰프에서 들을 수 있는가?



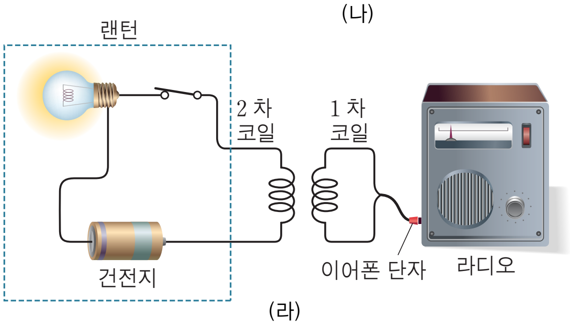
(가)



(나)



(다)



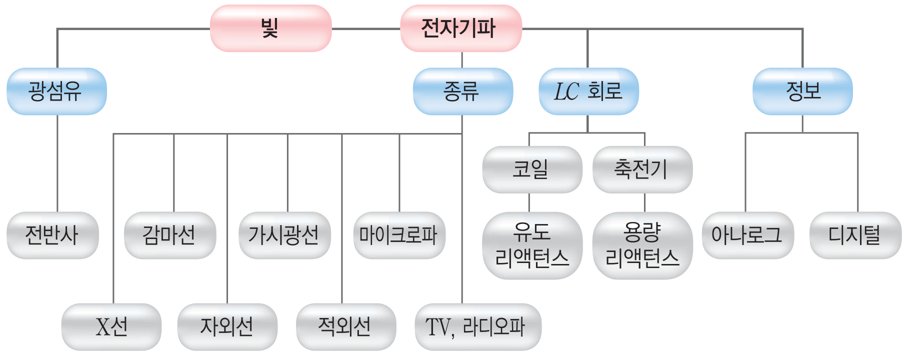
(라)

정 리
1. 과정 3과 4에서 앰프에서 소리가 나는 까닭을 설명해 보자.
2. 과정 5에서 라디오 이어폰 단자에서 나오는 신호가 교류 신호라는 것과 패러데이 법칙을 활용하여 왜 소리가 나는지 설명해 보자.
3. 과정 6과 7에서 앰프에서 라디오 소리가 왜 들리는지 설명해 보자.

정보의 전달과 저장

02 중단원 마무리

한눈에 보기



되짚어 보기

- 전자기파는 전기장과 자기장이 수직으로 변하면서 공간을 퍼져 나가는 파동이다.
- 전자기파는 파장이나 진동수에 따라 감마선, X선, 자외선, 가시광선, 적외선, 마이크로파, TV나 라디오의 전파 등으로 나누어진다.
- 감마선은 암치료, X선은 우리 몸 내부 관찰, 자외선은 살균 장치, 적외선은 온도 측정, 마이크로파는 통신과 전자레인지, 전파는 TV나 라디오의 정보 전달 등 여러 가지로 활용되고 있다.
- 안테나가 전자기파 속에 놓이면 전기장 변화에 따라 안테나 내부의 전하가 움직여 전자기파를 검출할 수 있다.
- *LC* 회로에서 교류가 흐를 때 교류의 주파수는 전기 용량과 유도 용량의 곱의 제곱근에 반비례한다.
- 전파에 소리 신호를 실을 때에는 진폭을 변화시키는 진폭 변조파를 사용하거나 주파수를 변화시키는 주파수 변조파를 사용한다.
- 자기적 성질에 의한 정보 저장 매체에는 자기 띠, 플로피 디스크, 하드 디스크 등이 있다.
- 전기적 성질에 의한 정보 저장 매체에는 플래시 메모리가 있고, 광저장 매체에는 CD, DVD 등이 있다.

주요 용어

전자기파
헤르츠 실험
안테나
전자기파 차폐
용량 리액턴스
유도 리액턴스
LC 회로
진폭 변조파
주파수 변조파
디지털 신호
자기 띠
강유전체
플래시 메모리
CD
DRAM
자기화
유전 분극
RFID



적외선 온도계

확인하기

1 다음 중 전자기파에 대한 설명으로 옳은 것을 모두 고르면?

① 전자기파의 속력은 빛의 속력과 같다.

② 노란색 빛보다 초록색 빛의 에너지가 높다.

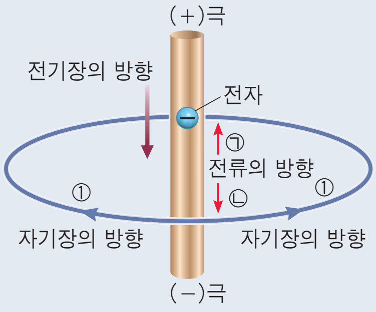
③ 적외선보다 자외선이 회절이 잘 일어난다.

④ 전자기파가 진행하는 데에는 매질이 필요없다.

⑤ 전자기파가 물 속에 들어가면 진공에 비해 속력이 빨라지고, 파장은 길어진다.

2 다음은 수직으로 세워진 직선 안테나에서 전하가 위아래로 진동할 때 발생되는 전자기파에 대한 설명이다. 빈칸에 알맞은 말을 써라.

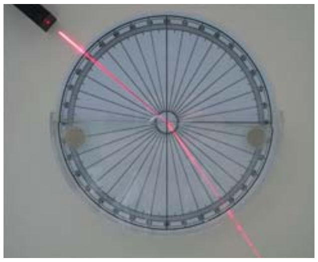
> 전기장이 아래 방향으로 걸린 경우, 전자는 전기력을 받아 ( ) 방향으로 이동한다. 이때 전류의 방향은 ( ) 방향이 되므로, 자기장의 방향은 그림에서 ( ) 방향이 된다. 따라서 전기장과 자기장은 서로 ( ) 방향으로 생기게 된다.



3 LC 회로에서 1200 kHz의 전파를 검출할 때 $L=2.0$ mH라면, 가변 축전기의 전기 용량을 얼마로 맞추어야 할까?

4 자기 테이프에서 정보를 저장할 때와 플래시 메모리(F 램)에서 정보를 저장할 때의 유사점과 차이점을 간단히 설명해 보자.

5 다음 그림에서 빛이 굴절하고 있다. 입사각을 변화시켜 보면, 어느 경우에 전반사가 일어날 수 있을까?



(가)



(나)

단원 마무리

단원평가

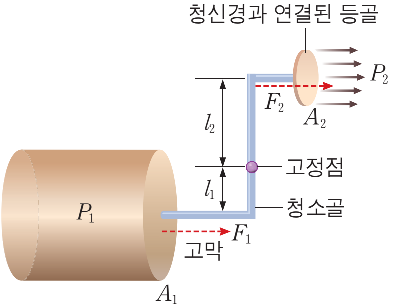
1

공기에서의 소리의 속력과 진행에 대한 설명으로 옳은 것을 모두 고르면?

① 파장이 길수록 소리의 회절이 더 잘 일어난다.
② 여름날 지표면 근처에서는 낮에 소리가 위로 휜다.
③ 찬 공기에서 더운 공기로 소리가 진행하면 소리의 파장이 길어진다.
④ $v=331.45+0.6t$이므로 영하 270도에서 소리의 속력은 169.45 m/s가 된다.
⑤ 온도가 높을수록 소리의 속력이 빨리지는 이유는 공기입자의 운동이 온도가 높을수록 활발하기 때문이다.

2

오른쪽 그림은 귀의 구조를 간단한 모형으로 나타낸 것이다. 이 모형을 이용하여 고막의 진동이 청소골에 의해 얼마나 증폭되는지 다음과 같은 단계로 알아보았다. 괄호 안에 알맞은 내용을 써라.



(1) 고막에 작용한 압력 P_1과 고막의 면적 A_1, 고막이 추골에 작용한 힘 F_1과의 관계식을 구한다.

$$P_1=\frac{(\qquad)}{A_1} \quad \cdots ①$$

(2) 마찬가지로 등골이 작용하는 힘 F_2, 등골이 청신경에 작용하는 압력 P_2, 청신경의 면적 A_2와의 관계식을 구한다.

$$P_2=\frac{F_2}{(\qquad)} \quad \cdots ②$$

(3) 식 ①과 식 ②를 이용하여 P_1/P_2의 비를 구한다.

$$\frac{P_1}{P_2}=\frac{(\qquad)}{A_1\times F_2} \quad \cdots ③$$

(4) 청소골의 구조에서 지레의 원리를 적용하여 l_1, F_1, l_2, F_2와의 관계식을 쓴다.

$$l_1F_1=(\qquad) \quad \cdots ④$$

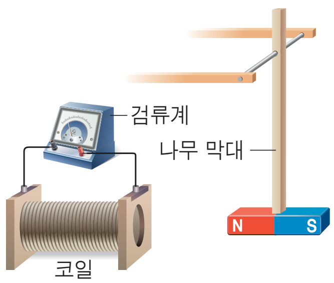
(5) 식 ④에서 F_2를 구해, 식 ③에 대입한다. P_1/P_2을 A_1, A_2, l_1, l_2로 나타낸다.

$$F_2=\frac{l_1F_1}{(\qquad)} \text{이므로, } \frac{P_1}{P_2}=\frac{(\qquad)}{(\qquad)} - ⑤$$

(6) 식 ⑤에서 면적의 비(A_1과 A_2)와 길이의 비(l_1과 l_2)를 이용하면 소리가 얼마나 증폭되는지 설명할 수 있다.

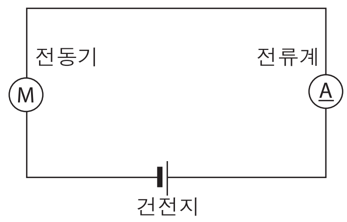
3

오른쪽 그림은 좌우로 흔들리는 나무 막대에 막대 자석을 달고, 코일 속에 들어갔다 나왔다 할 수 있도록 한 장치이다. 이 장치를 이용하여 할 수 있는 실험 방법과 결과에 대한 설명으로 적절한 것을 모두 고르면?

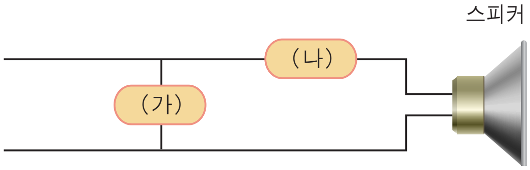


① 코일의 길이를 길게 할수록, 검류계 바늘의 움직임이 커진다.
② 막대 자석의 진폭을 크게 할수록 검류계 바늘이 더 많이 흔들린다.
③ 막대 자석이 코일 안에 들어갔다 나올 때, 검류계에 직류가 흐른다.
④ 자석을 극을 반대로 하여 흔들면, 검류계 바늘이 반대로 흔들린다.

4 오른쪽 그림과 같이 건전지에 전동기가 연결되어 회전하고 있다. 이때 전류를 계속 흐르게 하면서 전동기의 회전축을 손가락으로 잡아 전동기가 회전하지 못하도록 하였다. 그랬더니 전류계의 눈금이 올라갔다. 왜 그런지 설명하라.

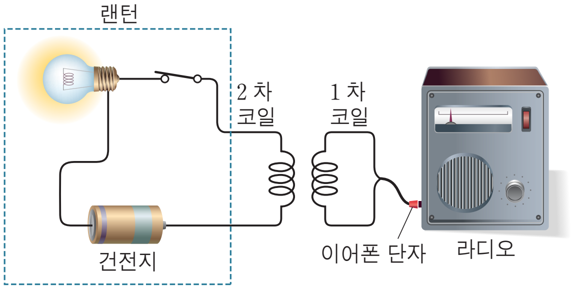


5 다음은 코일과 축전기를 이용하여 높은 소리를 걸러내기 위한 회로이다. (가), (나)에 들어갈 말을 옳게 짝지은 것을 모두 고르면?



	(가)	(나)
①	코일	코일
②	코일	축전기
③	축전기	코일
④	축전기	축전기

6 다음 그림과 같은 장치를 이용하면 광통신을 체험할 수 있다. 이에 대한 설명으로 옳은 것은?



① 라디오에서 나오는 전류는 교류이다.
② 음성 신호에 따라 랜턴 전구의 밝기가 변한다.
③ 2차 코일에 전류가 생기는 까닭은 1차 코일에 의한 자기장이 변하기 때문이다.
④ 빛을 받은 태양 전지에서 생기는 전류의 발생은 패러데이 법칙으로 설명할 수 있다.

7 다음은 자기적 성질, 전기적 성질, 빛을 이용한 정보의 저장에 대한 설명이다. 옳은 것을 모두 고르면?

① CD에서 정보를 읽을 때에는 빛의 간섭 현상을 이용한다.
② 자기 테이프의 정보를 읽는 과정은 패러데이 법칙으로 설명할 수 있다.
③ 강유전체를 이용한 플래시 메모리의 경우에는 자석을 가까이 하면 정보가 손실된다.
④ 자기 테이프에 자석을 가까이 하면 테이프 속의 작은 자석들이 자석의 극에 따라 배열하게 된다.
⑤ 축전기를 이용한 기억 소자는 전원이 끊어지면 정보가 유지되지 못하지만, 강유전체를 이용하면 전원이 끊어져도 정보를 계속 유지할 수 있다.

단원 마무리

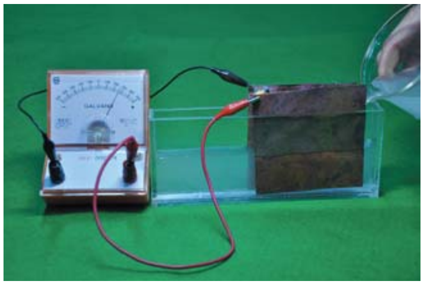
창의력 평가

1 많은 물건들은 정해진 용도가 있지만 그 용도 이외로도 다양하게 활용할 수 있다. 예를 들면, 물 잔은 물을 넣어 마시는 용도로 주로 사용되지만 엎어서 원을 그리는 데에도 사용할 수 있다. 이제 스피커의 다양한 용도를 제안해 보자.

이때 가능하면 다양하게, 남들이 미처 생각하지 못한 것으로, 구체적으로 많이 제안해 보자.



2 구리판을 불에 가열하면 간단하게 태양 전지를 만들 수 있다. 그렇다면 태양 전지로 할 수 있는 탐구 주제들에는 어떤 것들이 있을까? 예를 들면, 소금물의 농도에 따른 전압의 변화를 알아볼 수도 있을 것이다. 이외에 구리판 태양 전지로 할 수 있는 다양하고 새로운 탐구 문제를 제안해 보자. 이때 다음과 같은 생각이 도움을 줄 수 있다.



- 먼저 직접 태양 전지를 자세하고 다양하게 관찰하면서 어떤 특징이 있는지 알아본다.
- 태양 전지의 전압에 영향을 줄 수 있는 다양한 조건을 생각해 보고, 그러한 조건을 어떻게 변화시킬 수 있을지 생각해 본다.
- 구리나 소금물에 대해서, 또는 빛의 특징, 전지의 특징 등 태양 전지와 관련된 다양한 과학 지식을 생각해 본다.

3 창의적인 과학자는 남들이 모두 당연하다고 받아들이는 기본 법칙이나 자연 현상을 바꾸어서 생각해 보는 습관이 있다고 한다. 즉 “만일… 이라면…”라는 생각을 해 보는 것이다.

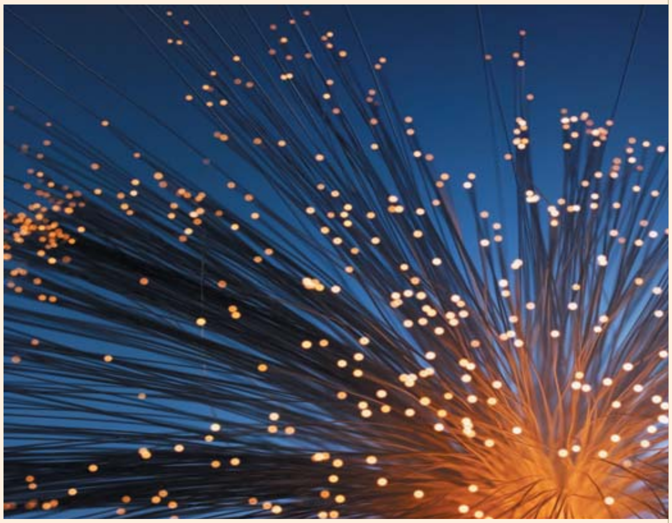
(1) 만일 소리의 속력이 온도가 올라갈수록 느려진다면 어떤 결과가 나타날까? 다양한 결과를 예상하여 보자.

(2) 이 외에 교과서에서 기본적인 내용을 바꾸어서 “만일 … 이라면…”이라는 문제를 만들어서 친구들과 함께 새롭고 재미있는 결과를 예상하여 보자.

과학 글쓰기

❖ 다음은 광통신과 광섬유에 관련된 주요 내용이다.

- 19세기 틴들은 자유 낙하하는 물줄기를 따라 빛이 물줄기 밖으로 나오지 않고 진행하는 것을 관찰하였다.
- 전반사는 빛이 밀한 매질에서 소한 매질로 진행할 때 일어난다.
- 광통신은 레이저가 발명되면서 활발하게 진행되었다.
- 카오 박사 연구팀은 1966년 유리 섬유로 레이저 빛을 보낼 수 있다고 이론적으로 주장하였다.
- 1970년 코닝 회사에서 최초로 광섬유를 제작하였다.
- 초기의 광섬유는 빛이 흡수되면서 멀리까지 전달될 수 없었다.
- 현재는 광섬유를 통해 빛을 100～200 km까지 전송할 수 있다.
- 광섬유를 통해 보낼 수 있는 정보의 양은 약 10 Gb/s에 달한다.
- 성경 16권에 해당하는 정보가 1초에 하나의 섬유를 통해 전송될 수 있다.
- 머리카락과 비슷한 광섬유의 지름은 100 μm 정도이다.
- 광통신을 통해 전달되는 정보의 속도와 양은 10여년 만에 1000배나 빨라졌다고 한다.
- 광섬유를 넣어 만든 특수 섬유로 된 옷을 입으면 맥박, 호흡, 체온 상태가 어떤지, 어디에 어떻게 상처가 났는지 등을 점검하여 전송하는 시스템도 가능하다.
- 광섬유를 이용하면 다양한 조명 장치도 만들 수 있다.



1 위의 내용 이외에 광통신과 광섬유에 대한 내용을 인터넷에서 찾아 정리해 보자.

2 정리한 내용들을 이용하여 광통신과 광섬유에 대한 글을 써보자. 이때 주제를 정하고 주제에 맞는 제목을 쓴 다음에, 글을 쓰고, 쓴 글을 소개하는 2～3줄의 간략한 소갯글도 따로 써보자.

3 자신이 쓴 글을 여러 사람들에게 발표한다고 가정하고, 발표하기 위한 자료를 만들어 보자. 이때 주어진 시간은 10분이라 하고, 적절한 발표용 프로그램을 이용하여 발표 자료를 만들어 보자. 발표 자료를 이용하여 혼자서 발표해 보고, 시간은 적절한지, 내용의 전개가 자연스러운지, 자신이 하고자 하는 주제가 잘 전달되었다고 생각하는지 스스로 점검해 보자.

과학 기술의 발달과 TV의 변화



TV는 디스플레이 방식의 하나이다. 디스플레이란 화면에 도형이나 문자의 형식으로 데이터를 시각적으로 표시하는 장치를 말한다. 아주 오랜 옛날에는 거울에 비친 자신의 얼굴이나 사물을 보는 것과 그림을 그려 표현하는 것이 전부였을 것이다.

그 후 문자와 종이의 발명으로 인쇄물로 표현할 수 있게 되었고, 무엇보다 획기적인 것은 브라운관이라고 불리는 음극선관의 발명으로 TV로 표현할 수 있게 되었다는 점이다.


울산 대곡리 반구대 암각화

우리나라에서는 1960년대에 흑백 TV가 처음으로 생산되었으며, 1980년대에는 칼라 TV가 도입되었다. 이 당시의 TV는 음극선관(브라운관)을 이용하는 것이었다.

음극선관 또는 CRT(cathode-ray tube)는 전자를 쏘아 마스크에 충돌시켜 화면을 보여주는 디스플레이 장치이다. 음극선관은 이미 사용되고 있었으나 전파를 받아 음극선관에서 영상으로 바꾸는 장치를 브라운(Braun, K. F.)이 발명하여 브라운관이라고도 한다. 음극선관은 음극으로부터 방출된 전자의 흐름이 형광면(TV 화면)을 때리면서 빛을 낸다. 음극선관의 전자총에서는 전자빔(음극선)이 방출되고 수직 편향판과 수평 편향판을 지나면서 방향이 조절된다. 이렇게 조절된 전자빔이 형광판(화면)의 특정 지점에 도달하면 형광 물질이 빛을 내게 되어 우리가 볼 수 있게 된다.



이렇게 음극선관은 전자를 가속시키기 위한 전자총 부분이 필요하고, 음극선(전자빔)을 이리저리 편향시키기 위한 수직 편향판과 수평 편향판이 필요하기 때문에 어떤 길이 이하로 줄일 수가 없다. 그러기 때문에 아직도 사용되고 있는 브라운관 TV 수상기나 컴퓨터 모니터는 화면 뒤쪽이 불룩한 형태를 지니고 있다.

이렇게 앞뒤로 길쭉할 수밖에 없었던 TV를 납작한 모양으로 만들 수 있었던 것은 LCD를 디스플레이에 이용할 수 있게 되면서부터였다. 평판 TV라고 불리는 것들이 바로 그것이다. 이 평판 TV는 2000년대에 들어서면서 보편화되기 시작하였다.

1990년대 말부터 2000년대에 들어서면서 PDP(Plasma Display Panel) TV가 등장하였다.



PDP TV는 플라즈마 방전에 의해 발생한 자외선이 형광체를 자극하여 빛을 방출하는 원리로 되어 있다. 이러한 원리를 이용하면 CRT 구조에서와 같은 길쭉한 모양의 구조를 극복할 수 있다. 이후에 등장한 것이 LCD TV이다. LCD TV(Liquid Crystal Display Television)는 말 그대로 액정 디스플레이 기술을 사용해서 만든 TV이다. 이 기술은 음극선관이나 다른 평면 영상 기술인 PDP와는 다른 기술이다. 액정 영상 기술은 발광체나 반사체 앞에 컬러나 흑백 화소들을 나열해서 얇고 평편한 영상 장치를 만드는 기술이다. 액정이란 일반적인 액체의 형태로 존재하면서 결정체의 성질을 가지고 있는 물질들을 말한다. 즉, 액체와 같이 움직이고 흐르지만 그 분자들은 일반적인 결정체의 구조와 같이 일정한 형태로 구성되어 있다.

초기 액정 화면 TV 기술은 음극선관 텔레비전 기술에 비해 몇 가지 단점이 있었다. 빠른 움직임의 화면일 때는 잔상 효과가 나타나고, 화면 바로 앞에서나 조금 옆에서 시청해야 잘 보이는 등의 단점이 그것이다. 그러나 최근엔 이러한 단점들이 보완되고, 화면의 크기가 82인치에서 100인치까지의 대형 텔레비전을 생산하기에 이르렀다.

LCD TV 중에는 LED-LCD TV가 있다. 이것은 줄여서 LED TV라고 불리기도 하는데, 사실은 LCD TV의 일종이다. 정확한 용어로는 LED 백라이트 LCD TV(LED-backlight LCD television)이다. 즉 액정 뒤에서 비추는 빛으로 LED를 사용한다는 것이다.

최근 들어서는 3차원 디스플레이를 TV에 응용하고 있다.

이제 이러한 디스플레이 기술은 어느 방향으로 발전할까?

여기에 과학과 기술 그리고 예술은 어떻게 함께 융합하여 발전하게 될지 궁금하다. 여러분은 어떻게 생각하는가?



Ⅳ 에너지

1. 에너지의 발생
2. 힘과 에너지의 이용



아무리 작은 생물이라도 생명체로서 항상성을 유지하기 위해 에너지가 필요하며, 아주 거대한 우주가 동적으로 변화하는 과정에도 에너지가 필요하다. 즉 에너지는 자연계의 존재와 변화를 이해하는 데 매우 중요한 역할을 한다.

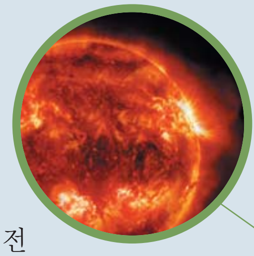
이 단원에서는 여러 가지 에너지가 있지만 서로 전환될 수 있다는 것을 이해하고, 일상생활에서 사용되는 전기 에너지가 어떻게 생산되고 운반되는지에 대해 알아본다. 또한 에너지의 전환이 힘의 작용으로 나타날 때의 현상을 일상생활에서 어떻게 이용하는지 알아보자.



신안군 동양 태양광 발전소

1 에너지의 발생





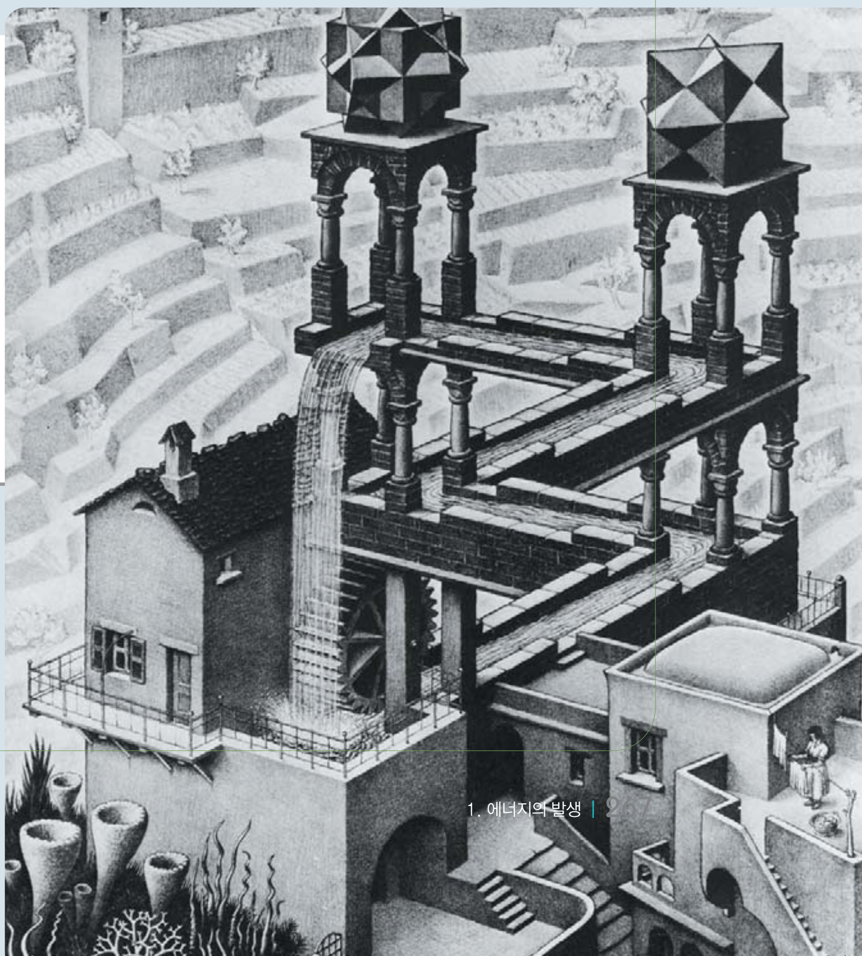


에너지에는 전기 에너지, 운동 에너지, 퍼텐셜 에너지 등 여러 가지 형태가 있으며, 한 형태에서 다른 형태로 전환될 수 있다. 한 형태의 에너지가 다른 형태로 바뀔 때 우리에게 필요한 일을 할 수 있으며, 반대로 일해줌으로써 에너지의 형태를 바꿀 수 있다. 에너지의 형태는 서로 전환될 수 있지만, 외부와 에너지의 출입이 없는 고립계에서 모든 형태의 에너지 총합은 항상 일정하다.

지구에서 사용할 수 있는 에너지로는 지구가 생성될 때 지닌 핵에너지나 지열 에너지, 각종 물질이 지닌 화학 에너지가 있고, 태양 에너지에 의해 만들어진 화석 연료와 현재 태양에서 받고 있는 빛에너지가 있으며, 달에 의한 중력 에너지가 있다. 현대 문명의 주된 에너지원은 화석 연료이었지만, 앞으로는 환경오염과 온실 효과를 줄일 수 있는 대체 에너지를 개발하는 것이 중요해졌다. 특히 전기 에너지는 일상생활에서 간편하게 사용될 수 있고, 다른 형태의 에너지로 쉽게 전환될 수 있기 때문에 인류는 지구에서 사용할 수 있는 여러 가지 에너지를 전기 에너지로 바꾸어 사용하는 방법을 개발하는 데 힘을 기울여 왔다.

생각 열기

에너지를 공급해 주지 않아도 영원히 작동할 수 있는 장치를 만드는 것이 많은 사람의 꿈이었다. 기계가 에너지를 무한히 만들어 낼 수 있어야 하던가, 아니면 이미 사용한 에너지를 고스란히 다시 사용할 수 있어야 한다. 오른쪽 그림은 벨기에의 에셔(Escher)가 그린 '물레방아' 라는 그림이다. 이 물레방아는 영원히 돌 수 있듯이 보이며, 이를 이용하여 에너지를 무한히 얻어 낼 수 있을 것 같다.
이 그림에서 무엇이 잘못되었을까?





1 전기 에너지의 발생

학습 목표

1. 기전력의 의미를 이해한다.
2. 유도 전류를 이용하여 전기 에너지를 만들 수 있음을 안다.
3. 발전은 여러 가지 형태의 에너지를 전기 에너지로 바꾸는 과정임을 안다.

1800년 이탈리아의 볼타는 전지를 발명했을 때 '기전력'이라는 용어를 처음 사용하였다. 기전력에 의해 외부에 어떤 일을 해 줄 수 있을 때 '전기 에너지'를 가지고 있다고 말한다. 따라서 기전력을 발생하는 장치는 일상생활에서 전기 에너지를 얻는 데 중요한 역할을 한다.



볼타(Volta, A.; 1745~1827)
이탈리아의 과학자. 그는 갈바니의 동물 전기 실험에서 아이디어를 얻어 전지를 발명하였다.

1. 기전력의 발생

기전력을 발생시키는 방법에는 여러 가지가 있다. 예를 들어 그림 Ⅳ-1과 같이 건전지처럼 물질 사이의 화학적 퍼텐셜 에너지 차이를 이용해 기전력을 발생시키거나, 역학적 운동 에너지를 이용한 발전기처럼 패러데이 법칙에 따라 유도 기전력을 발생시킬 수 있다. 또 태양 전지판에 빛을 쪼여주거나, 서로 접촉하고 있는 다른 두 금속에 온도 차이를 주었을 때도 기전력이 발생한다.



(가) 건전지 (나) 휴대용 발전기 (다) 온도 차에 의한 발전

그림 Ⅳ-1 기전력을 얻는 여러 가지 방법

기전력

electromotive force. 일반적으로 emf라고 표기하고 기호는 ε으로 나타낸다. 물리학에서 '힘'은 질량을 지닌 물체에 작용하는 역학적 물리량이며, 단위는 뉴턴(N)이다. 반면에 '기전력'은 전자기 현상에서 사용하며, 단위는 볼트(V)이다.

원래 '기전력'이라는 용어는 볼타가 전지에서 양전하와 음전하를 서로 분리시켜 주는 힘이라는 의미로 사용하였다. 그러나 나중에 과학자들은 이것이 실제로 '힘'이 아니라 전지와 연결된 외부 회로에 전류를 지속적으로 흘려주게 만드는 원인이 되는 '전압'을 뜻한다는 것을 나중에 알게 되었다. 그렇지만 오랫동안 사용하면서 굳어졌기 때문에 기전력이라는 용어를 아직까지 그대로 사용하고 있다.

외르스테드가 전류에 의해 자기장이 생긴다는 사실을 발견했을 때, 패러데이는 그 반대로 자기장에 의해 전류가 발생할 수 있을지에 대해 관심을 가졌다. 그 이후 패러데이는 도선 주위에서 자기장의 세기가 변할 때 도선에 전류가 흐르지만, 자기장이 변화하지 않을 때는 전류가 흐르지 않는다는 사실을 밝혀냈다.

자기장의 변화에 의해 전류가 발생할 수 있다는 현상의 발견은 전기 에너지를 인공적으로 생산하여 활용할 수 있는 가능성을 열어주는 계기가 되었다.

자기장의 변화에 의해 도체에 전류가 유도되는 현상은 오늘날 일상생활에서 광범위하게 이용되고 있다. 자기장 변화 검출 장치나 정보 저장 장치, 심지어 발전소에서 이루어지는 대규모의 발전 등이 그 사례이다.

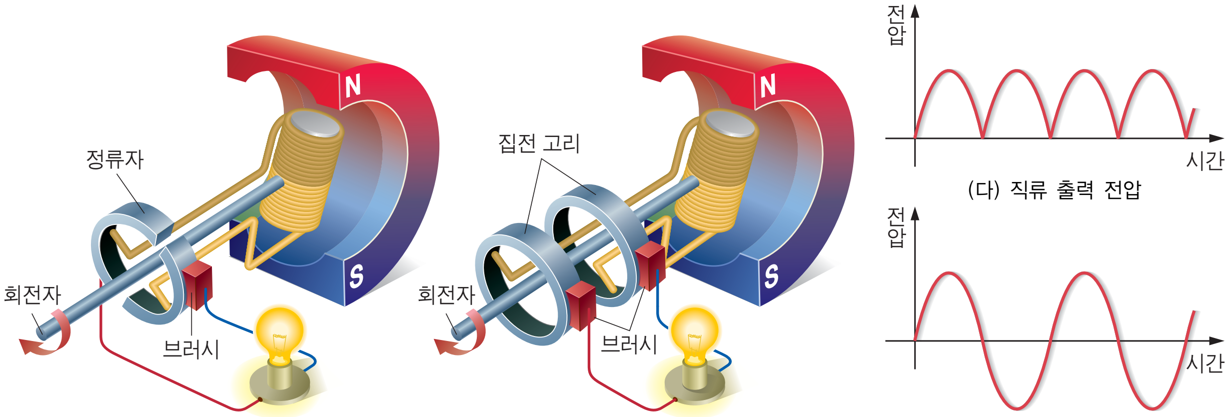


그림 Ⅳ-2 직류와 교류 발전기 모형과 출력 전압

탐구 1 해 보기 구리관에서 낙하하는 자석

준비물 구리관을 통과할 수 있는 크기의 네오디뮴 자석, 구리관 1 m, 고무판, 초시계

과 정

1. 자석이 구리관 길이만큼 그냥 낙하할 때 낙하 시간을 측정하고 낙하 속력을 계산한다.
2. 구리관 안에서 자석이 낙하할 때 낙하 시간을 측정하고 낙하 속력을 계산한다.
3. 구리관 속에서 자석이 낙하할 때 자석이 어떻게 운동하는지 관찰한다.

주의 바닥에 고무판을 깐 다음, 자석을 떨어뜨린다.



정 리

1. 자석이 그냥 낙하하였을 때와 구리관에 넣어 낙하하였을 때 낙하 속력을 비교해 보자.
2. 자석이 그냥 낙하할 때와 구리관 안에서 낙하할 때 속력이 달라지는 까닭을 패러데이 법칙과 렌츠 법칙으로 설명해 보자.
3. 자석이 구리관 안에서 낙하할 때 구리관의 중간 한 지점에서 자기장의 변화를 그래프로 그려보자.
4. 렌츠 법칙에 따라 유도되는 맴돌이 전류의 크기와 방향을 그래프로 그려보자.
5. 자석이 구리관 안에서 낙하할 때 속력의 변화를 그래프로 그려보고, 자석의 종단 속도에 영향을 주는 요인을 설명해 보자.

패러데이의 전자기 유도 법칙에 의하면 감은 수가 N인 코일의 기전력 ε은 자기력 선속 Φ가 시간 t에 따라 변할 때 발생한다.

$$\varepsilon = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

다음 탐구에서 자전거 발전기의 발전 원리에 대해 알아보자.

탐구 2 해 보기 **자전거 불 켜기**

준비물 발전기가 달린 자전거, 또는 자전거 발전기 모형, 회로 시험기

과 정
1. 발전기의 회전축이 바퀴에 접촉하도록 손잡이를 내린다.
2. 바퀴의 회전수에 따라 전구의 밝기가 어떻게 되는지 관찰한다.
3. 자전거 발전기를 회로 시험기에 연결하여 출력 전압을 관찰한다.
4. 전구에 연결된 전선을 빼고 발전기를 돌린다.



정 리
1. 일정한 주파수의 교류 전압을 만들기 위해서는 어떻게 바퀴를 돌려야 하는지 설명하여 보자.
2. 전구에 불이 켜질 때와 켜지지 않을 때 발전기를 돌리는 힘의 차이를 설명하여 보자.
3. 자전거 발전기를 분해하여 그 구조를 설명하여 보자.



그림 Ⅳ-3 자전거 발전기의 구조

탐구 2에서는 자전거 발전기가 교류 발전기의 일종이며, 출력 전압과 교류 주파수는 바퀴의 회전수에 따라 많이 달라진다는 것을 알 수 있다.

자전거 발전기는 그림 Ⅳ-3과 같이 회전축에 연결된 원통형 자석과 주위에 고정된 4개의 코일로 구성되어 있다. 자석이 회전하면 코일에서는 자기장의 세기와 방향이 변하면서 자기력선속이 변한다.

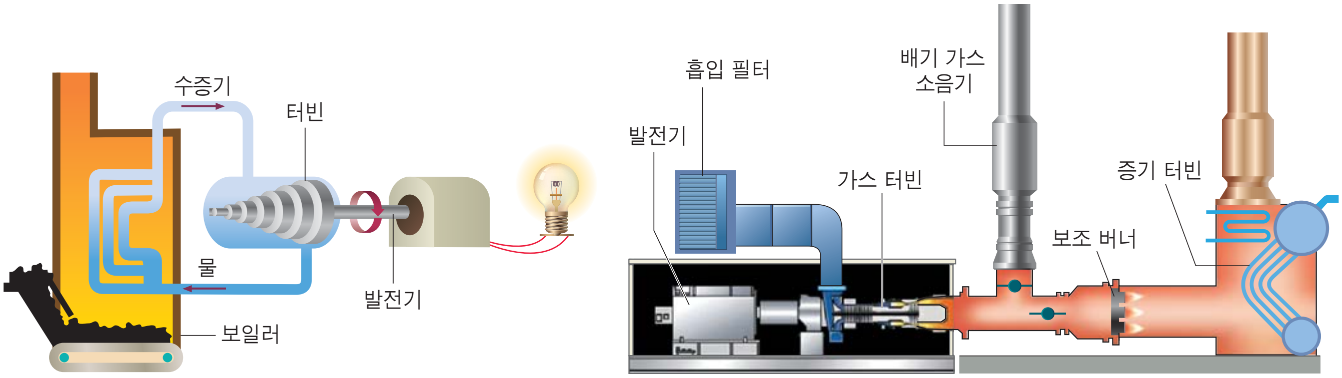
물음 1. 자전거 발전기에서 나온 전선은 하나뿐이다. 어떻게 전선 한 가닥만으로 자전거의 전등을 켤 수 있는가?

그러나 자전거 발전기에서 출력되는 전압은 낮고 주파수도 일정하지 않아 실용적으로 사용하기 어렵다.

패러데이 법칙은 역학적 운동에 의해 전기 에너지를 대규모로 얻는 데 사용할 수 있다. 발전소에서는 화석 연료, 수력, 원자력 등 여러 가지 에너지원을 이용하여 역학적 회전 운동을 발생시키고, 이를 발전기에 연결하여 전기 에너지를 얻는다.

2. 발전소에서의 발전

석탄, 석유, 가스 등의 화석 연료를 사용하는 **화력 발전**에는 그림 Ⅳ-4와 같이 크게 증기 터빈 방식과 가스 터빈 방식이 있다.



(가) 증기 터빈 방식의 복합 화력 발전 구조 (나) 가스 터빈 방식의 화력 발전 구조

그림 Ⅳ-4 화력 발전의 종류

증기 터빈 방식에서는 연료를 태울 때 발생하는 열로 물을 끓이고, 여기서 나온 높은 온도와 높은 압력의 수증기로 발전기를 돌린다.

가스 터빈 방식에서는 천연가스나 석탄 액화 가스가 가스 터빈에서 연소될 때 발생되는 고온 고압의 연소 가스로 회전력을 발생시키고, 이를 발전기에 연결하여 전기를 생산한다.

가스를 사용하는 화력 발전소에서는 가스 터빈에서 나온 고온의 열을 버리지 않고 재활용하여 고온 고압의 수증기를 발생시키고, 이를 다시 증기 터빈을 돌리는데 사용하는 복합 화력 발전소가 일반적이다. 복합 화력 발전은 재래식 화력 발전에 비해 환경오염 물질과 이산화탄소와 같은 온실가스를 상대적으로 적게 배출하며, 발전 효율이 높다는 장점을 지니고 있다.

화석 연료를 효율적으로 사용하기 위한 노력 중의 하나로서 도시 지역에서는 그림 Ⅳ-5와 같이 열병합 발전소를 운영하고 있다. **열병합 발전소**란 중유나 가스를 이용하여 복합 화력 발전을 하고, 이때 방출되는 폐열을 다시 이용하여 물을 데워 지역 난방에 사용하는 방식을 말한다. 최근에는 천연가스를 산소와 수소로 분해하여 발전



(가) 수소 연료 전지를 사용하는 일산 열병합 발전소 (나) 1 kW급 가정용 열병합 발전기

그림 Ⅳ-5 열병합 발전

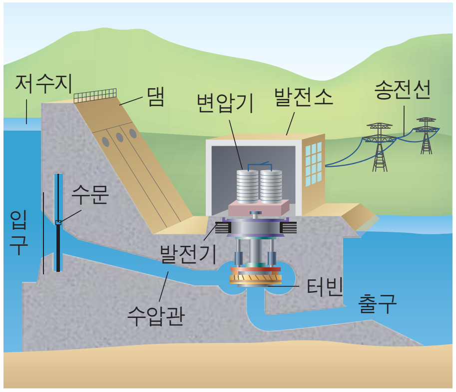
하는 연료 전지 방식을 사용함으로써 에너지 효율을 더 높이고 탄소 가스 배출을 획기적으로 줄이는 열병합 발전을 하기도 한다. 전기와 열을 동시에 생산하기 때문에 에너지 효율이 높다.

그러나 지을 수 있는 곳이 제한되어 있고 건설 비용이 많이 들며, 대규모의 환경 훼손에 따른 생태계 파괴 등이 불가피하다. 따라서 재생 가능한 에너지원이라는 이점을 살려 양수 발전소 형태로 건설하거나, 환경 훼손을 적게 하면서 작은 수량의 하천이나 계곡에서도 발전할 수 있는 **소수력 발전소** 건립을 장려하고 있다.

화력 발전과 수력 발전 이외에 핵에너지를 이용한 원자력 발전이 있지만, 이에 관해서는 뒤에 자세히 다루기로 한다.

양수 발전소

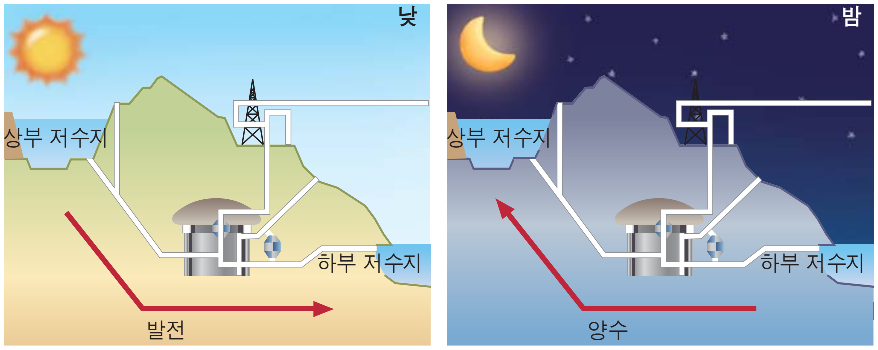
낮에는 물의 낙차를 이용해 발전하고, 전기 에너지를 적게 사용하는 밤에는 물을 다시 끌어올려 물을 댐에 저장하는 방식의 발전소



(가) 수력 발전의 원리



(나) 연천 고문 소수력 발전소



(다) 양수 발전의 원리

그림 Ⅳ-6 수력 발전

표 Ⅳ-1 발전소 유형에 따른 에너지 전환 과정

발전소 유형	에너지원	에너지 전환		
		에너지원	발전기 동력	최종 생산물
화력	화석 연료	화학적 퍼텐셜 에너지	역학적 운동 에너지	전기 에너지
수력	물의 낙차	역학적 퍼텐셜 에너지		
원자력	우라늄, 플루토늄	핵에너지		

2 전력의 수송

학습 목표

1. 전력의 의미와 단위를 알고 이를 실생활에 적용할 수 있다.
2. 발전소로부터 가정까지 전력을 수송하는 과정을 설명할 수 있다.
3. 전력 수송 과정에서 열로 에너지가 소모되며, 이를 줄일 수 있는 방법을 안다.

우리는 컴퓨터, 텔레비전 시청, 조명, 통신 등 거의 모든 일이 전기 없이는 실현될 수 없는 문명에 살고 있다. 따라서 생활 속에서의 전기를 이해하는 것은 우리의 문명을 가치 있게 활용하는 첫걸음이 된다.

앞서 다룬 전기 에너지의 발생에 이어, 전력이라는 개념을 통해 전기 에너지의 전달과 사용에 대해 알아보자.

1. 전력

전기에서 단위 시간당 변환된 전기 에너지를 **전력**이라고 하며, 이는 전기적 일률에 해당한다. 전력 P는 전압 V와 전류 I의 곱으로 표시한다.

$$P=VI$$

전력의 단위로는 W(와트)를 사용하며, 1 W는 1 V의 전압에 1 A의 전류가 흐를 때의 일률이다. 이것은 1초 동안 1 J의 역학적 일을 하는 것과 같다. 가정에서 사용하는 전기 제품에서는 소비 전력을 W로 나타내거나 이와 동등한 단위 값을 갖는 VA(볼트암페어)로 표시한다.

$$1\ \mathrm{W}=1\ \mathrm{V}\cdot 1\ \mathrm{A}=1\ \mathrm{J/s}$$

예를 들어 우리가 사용하는 노트북이 60 W의 전력을 소모한다고 할 때 1초마다 60 J의 에너지를 소모한다는 의미와도 같다. 이것은 중력 가속도를 10 $\mathrm{m/s^2}$이라고 할 때, 1초마다 6 kg의 물체 하나를 1 m 들어 올리는 데 해주어야 하는 역학적 일과 같다.

사람의 역학적 일을 전기 에너지로 100 % 바꿀수 있는 발전기를 사용하여 노트북으로 한 시간 동안 인터넷이나 게임을 한다고 하면, 6 kg 의 물체를 1초마다 1 m 씩 들어 올리는 일을 한 시간 동안 계속해서 발전기를 돌려야 할 것이다. 이렇게 우리가 가정에서 사용하는 전기 에너지는 편리하고 값이 싸지만, 그렇기 때문에 의식하지 않고 전기 에너지를 불필요하게 소비하고 있는 경우도 많다.

가정에서 사용하는 전기 에너지는 전력과 공급 시간의 곱으로 나타낸 kWh로 나타낸다. 이를 J로 환산하면 다음과 같다.

$$1\ \mathrm{kWh}=10^3\ \mathrm{W}\times 1\text{시간}=10^3\ \mathrm{W}\times 3600\text{초}=3.6\times 10^6\ \mathrm{J}$$



일률과 전력

전력을 이해하기 위해서는 다음과 같은 세 가지 정의가 필요하다.

1. +1C의 전하가 전기장 안에서 갖는 전기적 퍼텐셜 에너지의 차이를 전압이라고 하고, 단위로 V(볼트)를 사용한다. 이때 단위는 V=J/C이 된다.
2. 전류 I는 단위 시간 동안 이동한 전하량으로 정의되며, 단위로 A(암페어)를 사용한다. 즉 전하량 Q가 시간 t 동안 이동하였다면 전류는 $I=\dfrac{Q}{t}$가 되며, 단위는 A=C/s가 된다.
3. 일률은 단위 시간 동안 에너지가 전달된 비율로 정의되며, 단위로 W(와트)를 사용한다. 즉 에너지 E가 시간 t 동안 전달되었다면 일률은 $P=\dfrac{E}{t}$가 되며, 단위는 W=J/s가 된다.

이들 정의로부터 전압에 의해 전하량 $+Q$가 이동하면 전기적 퍼텐셜 에너지는 QV만큼 감소하고, 여기서 전하량 $+Q$가 한 일은 QV가 된다. 전환된 에너지가 $E=QV$이므로, 이때 일률은

$$P=\frac{E}{t}=\frac{Q}{t}V=VI$$

가 된다.

예제 1

집에 있는 브라운관식 낡은 대형 텔레비전의 정격 소비 전력이 450 W이다. 텔레비전을 하루에 4시간씩 30일을 켠다면 얼마나 많은 에너지를 소비하는가? 이를 kWh와 J로 표시하라.

해설 | 4시간씩 30일이면 120시간이다. 따라서 450 W × 120시간 = 54 kWh이다.
1 kWh는 3.6×10^6 J이므로, 54 kWh = $54 \times 3.6 \times 10^6$ J = 194.4×10^6 J이 된다.

답 54 kWh, 194.4×10^6 J

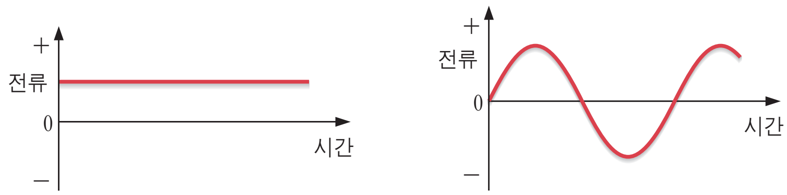
2. 직류와 교류

그림 Ⅳ-7과 같이 전류가 시간에 따라 일정하게 흐르면 **직류**(DC)라 하고, 주기적으로 변화하면 **교류**(AC)라고 한다. 가정에 공급되는 전기는 교류이지만, 조명 기구나 선풍기 등을 제외하고 많은 전기 제품은 직류로 작동된다. 따라서 직류를 사용하는 전기 제품은 교류를 직류로 바꾸기 위한 정류 회로를 제품 내부에 설치하거나 그림 Ⅳ-8과 같이 외부에 별도의 장치를 달아 사용한다.





그림 Ⅳ-8 교류를 직류로 변환하는 장치



(가) 직류의 파형 (나) 교류의 파형

그림 Ⅳ-7 직류와 교류의 파형

전기가 보급되기 시작하던 19세기 말 가정에 공급하는 전기를 교류로 할 것인가, 직류로 할 것인가에 대해 논쟁이 있었다. 발명왕 에디슨은 직류를 옹호하였고, 그의 조수였던 테슬라는 교류를 옹호하였다. 그러나 직류는 송전선의 저항에 의해 전압이 낮아지는 문제를 해결하기 어려웠다. 또한 교류는 변압기를 이용하여 전압을 자유롭게 바꿀 수 있지만 직류는 그렇지 못하였다. 이러한 교류의 장점 때문에 현재 모든 국가에서는 전기를 교류로 공급하고 있다.



테슬라(Tesla, N.; 1856~1943)
교류 발전과 무선 통신 분야에 많은 업적을 남겼다. 1960년 테슬라를 기념하여 자기장의 단위를 테슬라(T)로 정하였다.

3. 전력의 수송 과정과 에너지 손실

발전소에서 만들어진 교류 전기는 그림 Ⅳ-9와 같이 발전소 → 변전 → 송전 → 변전 → 배전의 절차를 거쳐 가정까지 전달된다.

발전소로부터 전기 에너지를 수송할 때는 전압을 높여 송전하고 소비지 근처에 와서는 전압을 낮추어 공급을 한다. 송전하기 위해 높은 전압을 사용하는 까닭에는 다음과 같은 장점 때문이다.

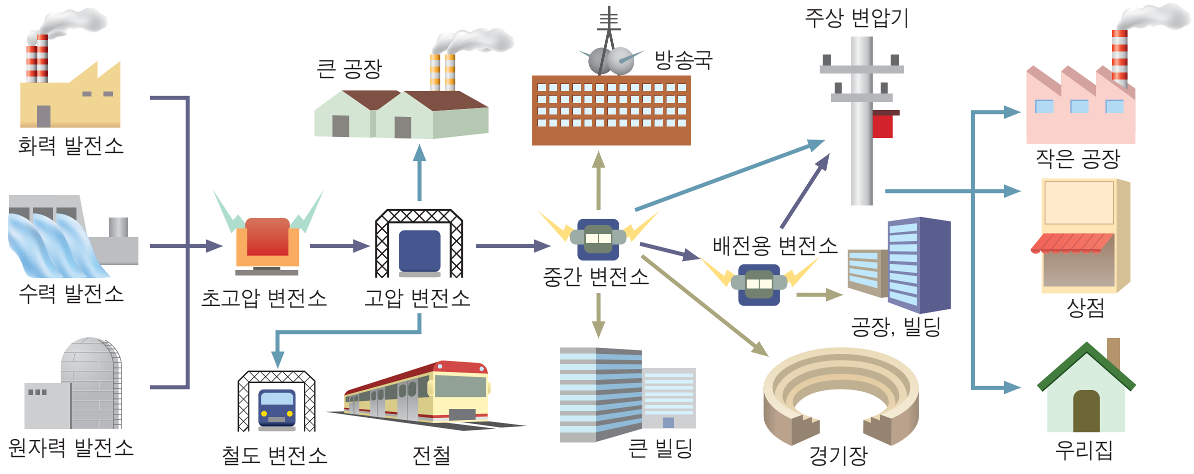


그림 Ⅳ-9 전력 수송 과정

첫째로 시설 측면에서의 경제성이다. 여러 송전선에 나누어 전기 에너지를 수송하는 것보다 한 송전선에 높은 전압으로 많은 전기 에너지를 수송하면 송전 시설과 관리를 위한 경비를 절감할 수 있으며, 송전탑의 설치 면적도 줄어들게 된다.

둘째로 에너지 이용의 효율성이다. 높은 전압으로 전력을 수송하면 송전선의 전기 저항에 의해 열로 사라지는 전기 에너지의 손실을 낮출 수 있다.

발전소에서 생산된 전기 에너지가 최종 소비지까지 전달되기 위해서는 전선을 이용해야 한다. 전선은 전기 전도성이 좋은 구리를 사용하지만, 금속마다 전류의 이동




그림 Ⅳ-10 송전선과 송전탑의 점검과 보수를 위해 직접 송전선 위로 올라가거나 헬기를 이용한다.



(가) 주상 변압기



(나) 대도시의 지하 전력구



(다) 지상 변압기

그림 Ⅳ-11 전력 수송의 여러 가지 시설

여러 가지 케이블

• 송전탑 사이를 연결하는 송전용 케이블



• 지하 전력구에서 사용하는 345 kV급 초고압 케이블



• 바다 밑에 부설하는 전력용 해저 케이블



을 방해하는 고유 저항을 가지고 있다. 따라서 전선에 전류가 흐를 때는 저항에 의해 열이 발생하고, 이것은 생산된 전기 에너지의 일부를 소모한다.

우리나라에 거미줄처럼 연결된 송배전 전선의 총 길이는 무려 지구 둘레의 34배에 해당하는 137만 km나 되므로 전선 저항에 의해 손실되는 전기 에너지를 무시할 수 없을 정도로 큰 규모이다. 따라서 에너지의 효율적 활용이라는 측면에서 전기 에너지를 수송할 때 전선의 저항에 의한 손실을 될 수 있으면 줄여야 한다.

그러면 전력 수송 과정에서 전선의 저항에 의한 전기 에너지 소모는 어떻게 될까?

여기서는 전압과 전류가 시간에 따라 변하는 교류보다 표 Ⅳ-2와 같이 전압과 전류가 일정한 직류를 사례로 전력을 계산하는 것이 편리하다.

발전소에서 발전한 전력 P가 직류 전압 V와 직류 전류 I로 수송된다고 하자. 같은 전력량을 수송할 때 전압을 낮추려면 전류를 증가시켜야 한다.

송배전선의 전체 저항 R은 전압이나 전류에 관계없이 주어진 값이다. 따라서 저항에 의해 시간당 열로 사라지는 전기 에너지는 전압이 V이고 전류가 I일 때 I^2R이지만, $2V$, $\frac{1}{2}I$일 때는 $\frac{I^2R}{4}$, $\frac{1}{2}V$, $2I$일 때는 $4I^2R$이 된다. 즉 전압을 n배로 높이면 손실되는 에너지는 처음 손실되는 에너지보다 $\frac{1}{n^2}$배로 줄지만, 전류가 n배가 되면 처음보다 n^2배로 늘어난다.

만일 전압을 $\frac{1}{2}V$로 하고 전류를 $2I$로 할 때 전선의 저항을 $\frac{1}{4}$배로 줄일 수 있다면, 전류가 증가함으로써 발생하는 에너지 손실에는 변화가 없을 것이다. 그러나 도선의 전기 저항은 단면적에 반비례하기 때문에 저항을 줄이기 위해서는 송전선의 굵기를 증가시켜야 한다. 이는 곧 송전선의 무게를 증가시켜 송전선 생산 비용이 늘어날 뿐 아니라 증가한 무게를 견딜 수 있게 거대한 송전탑을 더욱 견고하게 만드는 비용까지 추가해야 한다. 따라서 손실되는 에너지의 변화없이 전류를 증가시키기 위해 더 굵은 송전선을 사용하는 것은 경제적이지 않다.

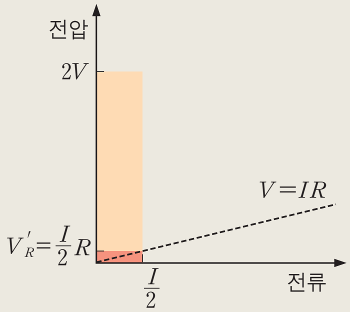
표 Ⅳ-2 전압과 전류에 따른 전력 손실의 변화

구분	전압 $2V$, 전류 $\frac{I}{2}$	전압 V, 전류 I	전압 $\frac{V}{2}$, 전류 $2I$
공급한 전력 P	$2V\cdot\frac{I}{2}=VI$	VI	$\frac{V}{2}\cdot 2I=VI$
송전선의 저항	R	R	R
저항에 의한 전압 강하	$V_R'=\frac{I}{2}R$	$V_R=IR$	$V_R''=2IR$
전압 강하에 의한 전력 손실 P_R	$\frac{V_R'I}{2}=\frac{I^2R}{4}$	$V_RI=I^2R$	$2IV_R''=4I^2R$
최종 전달된 전력 $P-P_R$	$VI-\frac{I^2R}{4}$	$VI-I^2R$	$VI-4I^2R$

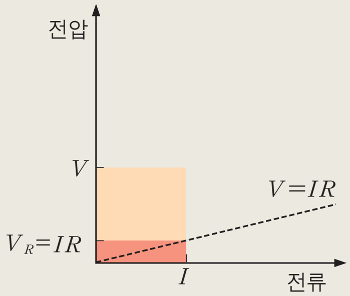
한 걸음 **더**

그래프로 나타낸 전력 손실

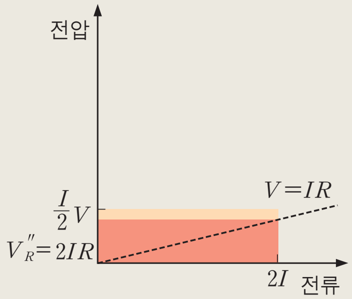
표 Ⅳ-2는 전력 손실이 전압과 전류의 변화에 따라 어떻게 달라지는지를 식으로 보였다. 이를 좀 더 쉽게 이해하기 위해 그래프로 설명해 보자.



(가) 전압 $2V$, 전류 $\frac{1}{2}I$



(나) 전압 V, 전류 I



(다) 전압 $\frac{V}{2}$, 전류 $2I$

① 전력이 일정하게 공급되고 있기 때문에 세 그래프에서 노란색 부분과 갈색 부분을 합한 사각형 면적은 $P=VI$로 모두 같다.

② 전선의 저항 R은 세 경우 모두 같으므로 옴의 법칙 $V=IR$에 의해 $V-I$ 그래프의 기울기는 서로 같다.

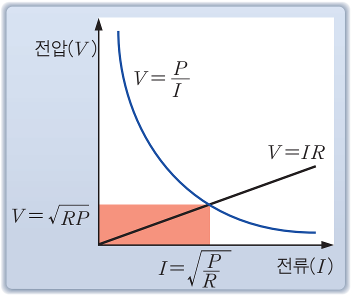
③ 세 그래프에서 갈색 면적은 저항에 의해 손실된 전력을 의미한다. 전류가 $\frac{I}{2}$, I, $2I$일 때 저항에 의해 낮아진 전압은 각각 $\frac{I}{2}R$, IR, $2IR$이며, 이때 전류×전압이 만든 갈색 면적은 손실된 전력량으로서 각각 $\frac{I^2R}{4}$, I^2R, $4I^2R$이 된다.

④ 일정하게 전력을 공급하여도 전선의 저항에 의해 손실되는 전력은 전류가 크고 전압이 낮을수록 증가한다.

예제 2

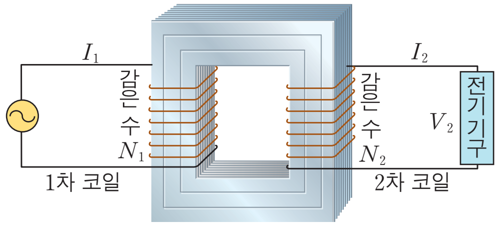
만일 공급한 전력 P가 전선의 저항 R 때문에 모두 손실된다면 소비자가 사용할 수 있는 전력은 전혀 없다. 이렇게 될 수 있는 전류 I와 전압 V는 얼마인가?

해설 | 공급한 전력 P와 전선의 저항 R은 일정하며, 그 안에서 변할 수 있는 값은 전압 V와 전류 I가 된다. 따라서 $V=\frac{P}{I}$인 곡선과 $V=IR$인 직선이 만나는 지점에서 공급한 전력이 모두 저항에 의해 소모된다. 앞의 두 식에서 앞의 두 식에서 $\frac{P}{I}=IR$로부터 $I=\sqrt{\frac{P}{R}}$이고, $V=\sqrt{RP}$가 된다. 위의 그래프로 볼 때, 노란색 면적이 모두 없어지고 갈색 면적으로 바뀌는 경우가 된다.



답 $I=\sqrt{\frac{P}{R}}$, $V=\sqrt{RP}$

물음 2. 송전선의 저항을 $\frac{1}{4}$배로 줄이기 위해 송전선의 굵기를 증가시키려고 한다. 송전선의 무게는 얼마나 증가하는가?



$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_2}$$

그림 Ⅳ-12 변압기의 원리

5. 변압기

교류 회로에서 변압기를 이용하면 두 회로가 서로 접촉하지 않고도 전력을 수송할 수 있고, 전압도 원하는 값으로 바꿀 수 있는 장점이 있다. 변압기는 패러데이의 전자기 유도 법칙을 이용하는 것으로서 1차 코일에 공급된 교류 전압에 의해 자기장의 변화가 유도되면, 철심을 통해 2차 코일에서 자기장의 변화가 교류 전압을 다시 유도한다.

변압기는 연철로 된 얇은 금속판을 여러 장 붙인 回 모양의 철심 양쪽에 코일을 감은 것이다. 입력되는 교류 전원에 연결된 부분을 **1차 코일**이라 하고, 전기 장치가 연결된 회로로 전력을 공급하는 부분을 **2차 코일**이라고 한다.



(가) 배전용 대용량 변압기



(나) 가정용 변압기

그림 Ⅳ-13 여러 가지 변압기

철심에 코일을 감은 까닭은 1차 코일에서 발생되는 자기력선속이 외부로 흩어지지 않고 철심을 통해 2차 코일로 거의 모두 전달될 수 있도록 하기 위한 것이다.

그림 Ⅳ-12와 같이 교류 전압 V_1이 감은 횟수가 N_1인 1차 코일에 입력되면 패러데이 법칙에 의해 $\varDelta t$ 시간 동안 자기력선속의 변화 $\varDelta\Phi$가 생긴다.

$$V_1=-N_1\frac{\varDelta\Phi}{\varDelta t}$$

$\varDelta\Phi$가 철심을 따라 손실이 없이 그대로 2차 코일을 통과한다면 2차 코일에서 유도되는 전압 V_2는 다음과 같다.

$$V_2=-N_2\frac{\varDelta\Phi}{\varDelta t}$$

시간당 변화하는 자기력선속은 양쪽 코일에서 같기 때문에 두 식을 결합하면

$$V_2=\frac{N_2}{N_1}V_1 \text{ 또는 } \frac{V_1}{N_1}=\frac{V_2}{N_2}$$

로 나타낼 수 있다. V_2는 1차 코일과 감은 횟수의 비에 의해 결정되므로 코일을 감은 횟수에 의해 2차 코일에 유도되는 전압을 조절할 수 있다. 감은 횟수에 따라 전압을 마음대로 올릴 수 있지만 여기에는 에너지 보존 법칙이 성립한다. 이상적인 변압기에서는 1차 코일에 입력된 전력은 출력되는 2차 코일의 전력과 같다.

$$P=V_1I_1=V_2I_2$$

일반적으로 변압기의 코일이 지니고 있는 저항과 철심에서 발생하는 맴돌이 전류 때문에 실제 변압기의 효율은 90∼99% 범위에 있다. 따라서 전기 제품의 전원을 켜지 않았다고 하더라도 변압기에서 손실된 양만큼 전기 에너지가 소모되고 있다. 이런 까닭으로 에너지 절약을 위해서는 전기 제품을 사용하지 않는다고 하더라도 전원에서 플러그를 뽑아 놓는 것이 필요하다.

예제 3

변압기를 이용하여 교류 220 V를 110 V로 낮추어 사용하려고 한다. 1차 코일의 감은 수가 500번일 때 2차 코일의 감은 수는 얼마가 되어야 하는가?

해설 | $\frac{V_1}{N_1}=\frac{V_2}{N_2}$ 식을 이용하면 $V_1=220$ V, $V_2=110$ V, $N_1=500$이므로

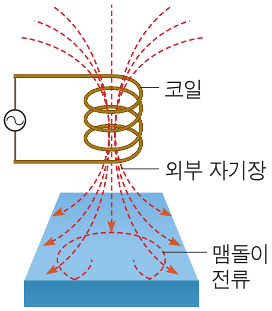
$$N_2=N_1\frac{V_2}{V_1}=500\times\frac{110\text{ V}}{220\text{ V}}=250\text{회이다.}$$

답 250회

연구 1. 변압기의 철심을 쇳덩어리로 만들어 사용할 수 있다면 더욱 손쉽게 변압기를 만들 수 있을 것이다. 그런데 왜 철심을 얇은 철판 수십 장을 붙여 만들었는가?

맴돌이 전류

도체 주변에서 자기장이 변하면 렌츠 법칙에 의해 도체는 외부에서 자기장의 변화를 방해하는 자기장을 만든다. 이 자기장을 만들기 위해 도체 내부에서는 유도 전류가 흐르는데, 이것을 맴돌이 전류라고 한다.



과학과 생활

전기 제품 바로 알기

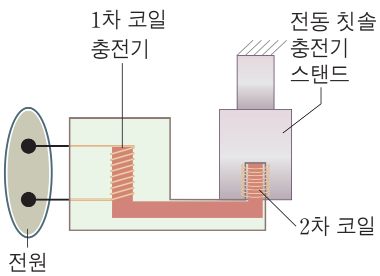
- SMPS(Switched-Mode Power Supply): 우리가 흔히 '프리볼트'라고 부르는 장치를 말한다. 이것은 국가마다 표준 전압이 다르고 정격 주파수도 다르기 때문에 어느 국가에서도 변압기를 별도로 사용하지 않고 자유롭게 전원에 연결하여 사용할 수 있게 하는 장치로서 SMPS라고 한다. 노트북, 휴대 전화와 같이 휴대성이 좋은 전자 제품의 전원 장치에 적용되고 있다. 다음 그림 (가)와 같이 전기 제품에 붙어 있는 AC 100~240 V, 50/60 Hz라는 표시는 교류 100 V에서 240 V 사이의 전압이 50 Hz 또는 60 Hz의 주파수를 가지면 모두 사용할 수 있다는 의미이다.
- 전동 칫솔과 무선 충전: 전동 칫솔은 칫솔에 내장된 배터리로 작동한다. 그러나 그림 (나)와 같이 배터리를 충전하는 데 필요한 금속 단자가 어디에도 보이지 않지만 충전기에 꽂으면 충전이 된다. 충전기와 배터리에 금속 단자가 없는 까닭은 물을 사용할 때 감전되는 것을 방지하기 위한 것이다. 여기에는 패러데이 법칙이 적용되어 있다. 그림 (다)와 같이 변압기를 통해 전동 칫솔에 필요한 전압으로 낮추어진 2차 교류 전압이 칫솔 내부에서 자기력선속의 변화에 의해 교류를 유도하고 이를 직류로 바꾸어 배터리를 충전한다.



(가) 전기 제품 표시



(나) 전동 칫솔



(다) 전동 칫솔의 원리

6. 전기 에너지의 효율적 이용

발전소에서 발전되는 전력량은 최종 소비지에서 사용하는 전력량에 의해 결정된다. 즉 요구되는 양만큼만 전기가 생산되며, 남는 전기는 저장되지 않는 특성을 지니고 있다.

따라서 아무리 많은 전력 생산 능력을 가진 발전소라고 하더라도 소비지에서 사용하지 않으면 발전기는 회전하는 데 에너지만 소모하고 전기를 생산하지 않는다. 양수 발전의 경우 공급 능력이 충분히 남으면 그 에너지를 이용하여 물을 다시 끌어올려 퍼텐셜 에너지 형태로 비축할 수 있다. 그러나 화력이나 원자력 발전소의 경우 전기 공급 능력이 남는 경우, 이를 다른 형태의 에너지로 비축할 수 없기 때문에 연료만 소진하는 결과가 된다.

지능형 전력망(Smart grid)

전력 기술에 정보 통신 기술을 접목하여 전력선을 통해 양 방향으로 전력 수급 상황을 관리하는 차세대 전력 시스템이다. 지능형 전력망이 구축되면 급격한 전력 수급의 변화가 생겼을 때 전력 수요와 공급을 적절히 분산하여 대규모 정전 사태를 미리 방지하고 정교하게 대처할 수 있다. 또한 기존 전력망에 소규모 신·재생 에너지에 의한 전력을 통합 관리할 수 있고, 가정에 홈네트워크를 구축하여 전기 제품의 자가 진단 및 원격 제어가 가능해진다.

반면 최대 전력 수요가 공급 능력의 한계에 가까워지면 모든 발전기는 최대로 가동되고, 이에 따라 발전기에 무리가 가서 고장 날 수 있다. 한 발전기가 고장 나는 경우 다른 발전기에 전력 생산이 전가되어 연쇄적인 고장을 유발할 수 있고, 이는 대규모 정전 사태를 일으킨다.

한 국가에서 사용하는 전력량은 시간마다, 계절마다 일정하지 않고 변한다. 전력 수요량이 최대가 되는 시간을 피크 타임이라고 한다. 하루 중에는 낮 시간에 전력 사용량이 가장 많고, 심야에는 감소한다. 계절 중에는 여름과 겨울에 냉난방 수요 때문에 전력 사용량이 가장 많다. 따라서 가장 무더운 여름 오후에는 전국적으로 사용하는 전력량이 최대가 된다.

하지만 일 년 중 몇 시간만 지속되는 최대 전력 사용량을 위하여 무작정 발전소를 늘리는 것도 쉽지 않다. 발전소를 짓는 데 막대한 비용과 수년의 시간이 걸리는 반면, 전력이 저장되지 않는 특성 때문에 하루 중 심야나 계절 중 봄가을에는 전력을 사용하지 못해 발전소가 쉬거나 연료만 소진하는 일이 생긴다.

전력의 수급 문제를 해결하기 위해서는 다음과 같은 사항이 필요하다.

첫째, 연간 전력 사용량을 정확히 예측하여 전력 공급 계획을 세워야 한다.


지능형 전력망 모형

둘째로 지능형 전력망 시스템을 도입하여 전력 사용량의 분산을 유도하고, 소규모의 지역 발전소의 건립으로 지역별 전력 수요를 충족해야 한다.

연구 2. 하루 중이나 일 년 중 최대 전력 사용량과 최소 전력 사용량 사이에는 큰 차이가 있다. 이 격차를 줄이기 위한 방법을 에너지의 효율적 이용이라는 측면에서 두 가지 이상 제시해 보자.

과학과 **생활**

가정에서의 전기

우리나라의 가정용 표준 전압은 110 V/60 Hz와 220 V/60 Hz이지만 현재는 220 V/60 Hz만 공급하고 있다. 반면 미국에서는 120 V/60 Hz가 표준 전압이지만, 일본에서는 지역에 따라 100 V/50 Hz와 100 V/60 Hz를 사용하고 있으며, 유럽 국가의 대부분은 230 V/50 Hz를 사용한다.

우리나라도 가정용 전압으로 110 V/60 Hz만을 사용하였지만, 1973년부터 220 V/60 Hz로 승압하는 사업을 시작하여 2005년 전국의 승압 사업을 완료하였고, 현재는 모든 가정에서 220 V/60 Hz를 사용하고 있다. 가정의 전력 수요가 크지 않았을 당시부터 승압 사업을 미리 시작함으로써 폭증하는 전력 수요에 적절히 대처할 수 있게 되었다.

110 V를 사용할 때보다 220 V를 사용하면 전력 손실을 줄일 수 있다는 장점 이외에도 가정에 전기 에너지를 더 많이 공급해 줄 수 있다는 장점이 있다.

에어컨이나 냉장고, TV, 조명 기구와 같이 가정에서 사용하는 전기 제품의 소비 전력은 대략 정해져 있다. 즉 전기 제품마다 그 제품의 목적에 맞게 일을 하기 위해 소비해야 할 에너지 규모가 있기 때문에, 낮은 전압에서는 전류를 크게 해야 하지만 높은 전압을 사용하면 낮은 전류로도 작동할 수 있다.

과학 기술이 발전하면서 가정에서 점점 더 많은 전기 제품을 사용하게 되었고, 이에 따라 가정에서 소비하는 전기 에너지의 양도 급격히 증가하게 되었다. 그러나 가정에 공급하는 전압은 정해져 있기 때문에 가정에서 증가하는 전력 수요를 만족시키기 위해서는 전류를 높여야 한다.

같은 세기의 전류를 사용한다고 할 때 220 V를 가정에 공급하면 110 V일 때보다 두 배의 전력을 공급해 줄 수 있기 때문에 더 많은 전기 에너지를 사용할 수 있다.

전압이 높아지면 더 위험해진다고 생각할 수 있으나, 일반적으로 전기의 위험성은 전류에 의해 좌우된다.

예를 들어 겨울철 건조한 날 옷을 벗거나 카펫 위를 걸어갈 때 경험하는 정전기 방전 현상은 불쾌한 느낌을 주기는 하지만 위험하지는 않다.

대략 1 cm 거리에서 방전되는 정전기의 전압은 4천~3만V이지만, 이때 흐르는 전류는 수 mA보다 작다. 그러나 가정에서 사용하는 전류는 이보다 훨씬 더 세기 때문에 110 V나 220 V로 감전되었을 때 똑같이 위험하다.

교류(60 Hz)	위험한 정도
0.4 mA	손에 미약한 느낌
1.1 mA	짜릿한 감각
9 mA	고통을 느낌
16 mA	고통스러움. 즉시 손을 떼야 함
20~75 mA	심각한 고통과 호흡 곤란 쇼크 및 스스로 통제할 수 없음
~100 mA	3초 후 심장 근육 수축
100~200 mA	즉시 조치하지 않으면 사망
200 mA 이상	심각한 화상 및 근육 수축, 심장 정지, 내장 손상, 생명을 건진다고 하더라도 후유증 심각
1 A 이상	사망

감전되었을 때 느끼는 정도는 일반적으로 여자가 남자보다 좀 더 민감하다고 알려져 있다. 피부의 상태에 따라 피해의 정도가 크게 달라진다. 젖은 피부의 경우 표에서 제시된 정도보다 더 심각한 피해를 볼 수 있다. 또한 전류가 심장을 지나가는 경우 그 위험은 더 커진다.



3 핵에너지

학습 목표

1. 전하량 보존, 질량수 보존을 적용하여 간단한 핵반응식을 이해한다.
2. 생활 주변의 방사능과 방사선이 인체에 미치는 영향에 대하여 안다.
3. 핵분열과 핵융합 과정에서 질량의 변화에 의해 에너지가 발생할 수 있음을 알고, 여러 종류의 원자로의 작동 원리를 이해한다.

우리나라에서 사용하고 있는 전기 에너지 중 절반 정도가 원자력 발전소에서 만들어진다. 원자력 발전소에서는 우라늄과 같이 무거운 원자핵이 가벼운 핵으로 분열하는 과정에서 발생하는 에너지를 이용하여 전기 에너지를 만든다. 태양 에너지는 수소 원자핵이 헬륨 원자핵으로 융합하는 과정에서 발생한다. 전자기파 중 높은 에너지를 가진 감마선 역시 원자핵이 분열하거나 융합할 때 나온다.

매우 작은 핵에서 이렇게 강력한 에너지가 어떻게 나올 수 있을까?

1. 원자핵

원자는 원자핵과 그 주위를 둘러싸고 있는 전자로 이루어져 있다. 원자핵은 매우 작아서 가장 큰 원자핵이라 해도 그 반지름이 10^{-14} m 정도밖에 되지 않는다. 핵의 질량도 매우 작아서 가장 가벼운 수소 원자핵은 1.67×10^{-27} kg이고, 가장 무거운 원자핵이라고 해도 이것의 200배 정도이다. 그래서 $E=mc^2$의 식을 써서 질량을 에너지로 환산한 MeV(메가전자볼트)를 질량 단위로 사용한다.

예제 4

수소 원자핵의 질량은 1.67×10^{-27} kg이다. 수소 원자핵의 정지 에너지를 eV 단위로 나타내면 얼마일까?

해설 | 아인슈타인의 질량 · 에너지 관계식 $E=mc^2$으로부터 구할 수 있다.

$$E=\frac{1.67\times10^{-27}\ \text{kg}\times(3.0\times10^{8}\ \text{m/s})^2}{(1.6\times10^{-13}\ \text{J/MeV})}=939\ \text{MeV}$$

답 939 MeV

원자 번호와 질량수

핵자 수	기호	
양성자수	Z	원자 번호
중성자수	N	
$Z+N$	A	질량수

원자핵은 양성자와 중성자라는 더 작은 입자들로 이루어져 있다. 양성자와 중성자는 질량이 거의 같고 전하량은 다른 입자이다. 양성자는 양의 기본 전하를 띠고 있지만, 중성자는 전기적으로 중성이다. 양성자와 중성자를 통틀어 **핵자**라고 한다. 표 Ⅳ-3은 전자와 원자핵의 양성자와 중성자의 질량과 전하를 나타낸 것이다.

표 Ⅳ-3 입자들의 질량과 전하량

입자		질량		전하량
		kg	MeV	C
전자		9.11×10^{-31}	0.51	-1.602×10^{-19}
원자핵	양성자	1.6726×10^{-27}	938.27	$+1.602\times10^{-19}$
	중성자	1.6749×10^{-27}	939.57	0

원소를 구분해주는 원자 번호는 원자핵에 들어 있는 양성자의 개수를 나타낸다. 원자의 화학적 성질은 원자의 전자수에 따라 결정되는데, 중성 원자에서 전자수는 양성자수와 같다. 원자핵의 질량은 그 안에 있는 양성자와 중성자의 수를 합한 값이다. 이것을 **질량수**라고 한다. 양성자수는 같지만 중성자수가 다른 원소들을 **동위 원소**라고 한다.

원소의 표기

질량수 A, 원자 번호 Z: $^{A}_{Z}\mathrm{X}$ 원소 기호

수소의 동위 원소

표기	이름
$^{1}\mathrm{H}$	수소(Hydrogen)
D, $^{2}\mathrm{H}$	중수소(Deuterium)
T, $^{2}\mathrm{H}$	삼중 수소(Tritium)

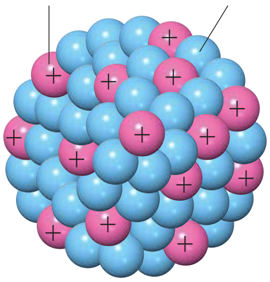


그림 Ⅳ-14 핵의 모형

예제 5

$^{238}_{92}\mathrm{U}$와 $^{235}_{92}\mathrm{U}$의 양성자수와 중성자수는 각각 얼마인가?

해설 | $^{238}_{92}\mathrm{U}$와 $^{235}_{92}\mathrm{U}$의 원자 번호는 92이므로 양성자수는 모두 92개이며, $^{238}_{92}\mathrm{U}$의 중성자수는 $238-92=146$개, $^{235}_{92}\mathrm{U}$의 중성자수는 $235-92=143$개이다.

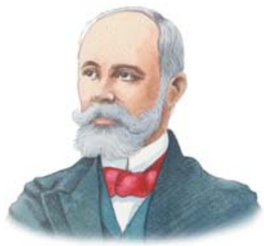
답 양성자수: $^{238}_{92}\mathrm{U}=^{235}_{92}\mathrm{U}=92$개, 중성자수: $^{238}_{92}\mathrm{U}=146$개, $^{235}_{92}\mathrm{U}=143$개

2. 방사능과 핵변환

핵변환

불안정한 핵에서는 핵자의 조성을 바꾸면서 다른 핵으로 변환되는 핵변환이 자발적으로 일어나며, 이때 주위에 방사선을 방출한다. 이러한 핵을 지닌 원소를 **방사성 동위 원소**라고 한다.

최초로 발견된 방사성 원소는 우라늄이다. 1896년 베크렐이 발견하였고, 1898년 퀴리 부부는 우라늄보다 300만 배나 강한 방사능을 가진 라듐을 발견하였다.



베크렐(Becquerel, H.; 1852~1908)

프랑스의 과학자. 방사능 발견으로 1903년 노벨 물리학상을 수상하였다.

α 붕괴

어떤 핵이 α선, 즉 헬륨 원자핵을 방출하고 있다면 이 핵은 양성자 2개와 중성자 2개를 잃고 다른 핵으로 변환된다. 예를 들어 라듐 $^{226}_{88}\mathrm{Ra}$이 α 붕괴를 하면 라돈 $^{222}_{86}\mathrm{Rn}$이 된다.

$$^{226}_{88}\mathrm{Ra}\rightarrow{}^{222}_{86}\mathrm{Rn}+{}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

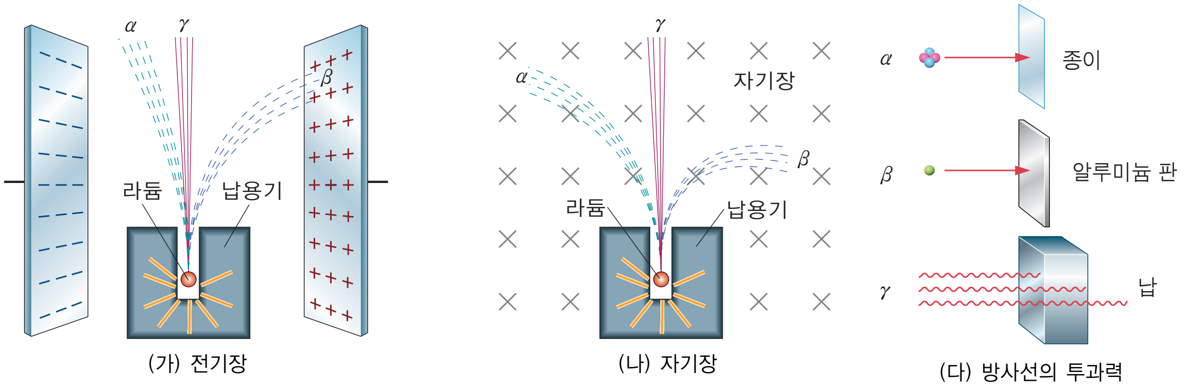


그림 Ⅳ-15 전기장과 자기장 내에서 방사선의 궤적과 방사선의 투과력

반입자(antiparticle)

어떤 입자에 대해 질량은 같지만 전하, 패리티 등에서 반대 값을 가진 입자를 반입자라고 한다. 예를 들어 전자의 반입자는 양전자이며, 양성자의 반입자는 반양성자이다. 전하가 없는 중성자나 중성미자도 반입자로서 각각 반중성자, 반중성미자를 갖는다.

퀴리 부부(Pierre and Marie, Curie)

방사능의 발견으로 1903년 노벨 물리학상 수상. 마리 퀴리는 라듐과 폴로늄의 발견으로 1911년 노벨 화학상을 수상하였다. 그녀는 여성 최초로 노벨상을 받았고, 여성 최초로 소르본 대학 교수가 되었으며, 딸과 사위까지 노벨상을 받았다.

β 붕괴

β 붕괴에서 나오는 전자는 핵 안에 들어 있던 중성자가 양성자로 변환되는 과정에서 만들어진다.

$$n \longrightarrow p + e^{-} + \bar{\nu}_e$$

이때 중성미자의 반입자 $\bar{\nu}_e$도 함께 나오는데, 중성미자는 정지 질량이 거의 0인 입자이다. 운동량과 에너지를 가지지만 전하도 없고 어느 물질과도 거의 반응을 하지 않기 때문에 관측되지 않는다. 핵이 β 붕괴를 하고 나면 양성자가 하나 늘어나기 때문에 원소가 바뀐다. 하지만 질량수는 바뀌지 않는다.

γ선 방출

γ선이 나오는 과정에서는 원소의 변환은 일어나지 않는다. 이 과정에서는 핵이 높은 에너지를 가진 들뜬상태에 있다가 낮은 에너지 상태로 바뀌면서 그 에너지 차이에 해당하는 전자기파를 방출한다. 이것은 보어 모형의 수소 원자에서 전자가 높은 에너지 상태에 있다가 낮은 에너지 상태로 바뀌면서 빛이 나오는 원리와 같지만 전자기파의 에너지가 백만 배 정도 높다는 점만 다르다.

반감기

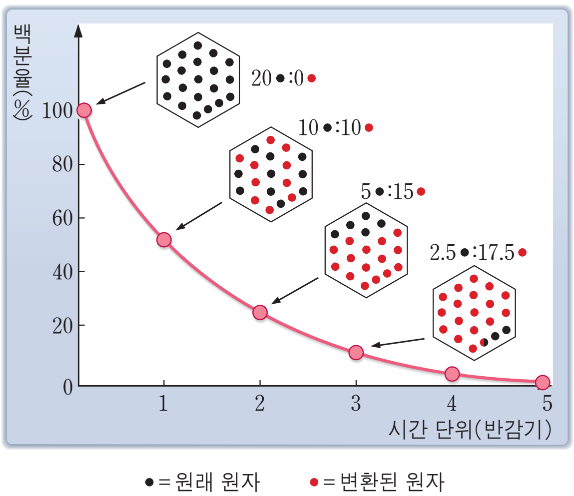


그림 Ⅳ-16 방사성 원소의 반감기 곡선

방사성 붕괴는 모두 확률적으로 일어나며, 방사성 원소가 단위 시간 동안 붕괴할 확률 λ는 남아 있는 양에 반비례한다. 즉, 방사성 원소가 N개 들어 있다면 어느 순간부터 Δt 시간 동안 붕괴하는 방사성 원소의 수 $-\Delta N$은

$$\Delta N = -\lambda N \Delta t$$

이다. N이 줄어들고 있으므로 ΔN은 음수이다. 이 식은 방사성 원소의 수가 원래의 일정 부분으로 줄어드는 데 걸리는 시간이 일정하다는 것을 알려준다. 방사성 원소의 수가 처음의 반으로 줄어드는 데 걸리는 시간을 **반감기**라고 한다. 방사성 동위 원소 중 반감기가 매우 짧은 것은 1 μs보다 작고, 아주 긴 것은 10^{20}년 정도이다.

방사능량과 방사선량

방사선 에너지는 물질 속을 지나면서 물질에 흡수된다. 이러한 에너지의 흡수 과정에서 세포가 파괴될 수도 있으므로 방사선에 대한 노출은 가능한 한 피해야 한다. 심하게 노출되면 암이 발생할 수도 있고, 조직 세포의 대량 파괴, 세포 물질의 기능 변화 등으로 중상을 입거나 죽음에 이를 수 있다. 방사선을 다루는 곳에서는 방사능량과 방사선량의 단위를 정하여 사용한다.

방사능량은 어떤 물질에서 얼마만큼 방사능 변환이 일어나는가를 알려주는 것으로, 국제 표준으로는 Bq(베크렐)이라는 단위를 사용한다. 1 Bq은 물질 안에서 매초 1개의 방사성 원소가 변환되는 것으로 정하였다.

방사성 물질 경고 표시

이러한 물질을 다룰 때는 보호 장구를 착용하고, 가능하면 집게 등을 이용하여 멀리서 취급하고, 될 수 있으면 짧은 시간에 신체에 노출되도록 하며, 납 용기에 넣어 보관한다.



예제 6

백금 1 g에는 α 붕괴하는 방사성 동위 원소 $^{190}_{78}Pt$가 0.125 Bq 함유되어 있다. 백금 1돈(3.75 g)으로 만든 반지에서 매분 몇 개의 α 입자가 방출되는가?

해설 | 1 g의 백금이 0.125 Bq이므로 3.75 g의 백금은 0.469 Bq이고
0.469 Bq × 60초 = 28.14개로서 매분 28개 정도의 α 입자가 방출된다.

답 28개

방사선량은 얼마만큼의 방사선이 물질로 들어오는 가를 재는 양이다. 방사선에 노출되면 이 방사선량을 측정하여 위험도를 알 수 있다. 방사선량의 단위로는 Gy(그레이)를 사용한다. 1 Gy는 1 kg의 물질에 1 J의 에너지가 흡수된 것을 나타낸다.

같은 양의 방사선이 흡수되었다 하더라도 생체에 나타나는 효과는 방사선의 종류와 에너지에 따라 다르게 나타나기 때문에 생체가 받는 효과를 나타내기 위해 Sv(시버트) 단위를 사용한다. 1 Sv는 생체 1 kg이 방사선의 에너지 1 J을 흡수한 것을 나타낸다.

생활 속에서의 방사선

충돌한 원자를 이온화시킬 수 있을 정도로 충분한 에너지를 갖고 있는 α 입자(헬륨 이온)나 β 입자(전자), X선, γ선 등의 방사선에 노출되면, 세포를 구성하는 원자들이 이온화되면서 세포가 죽거나 손상되며, 암이 유발되거나 DNA가 변형될 수 있다. 이 방사선들은 크게 자연 환경에서 발생되는 자연 방사선과 인간의 행위에 의해 발생되는 인공 방사선으로 구분된다. 인간이 받는 전체 생활 방사선 중 자연 방사선이 82%를 차지하고 있고, 인공 방사선이 18%를 차지하고 있다.

표 Ⅳ-4 생활 방사선의 종류

구분		설명
자연 방사선 (연간 약 2.4 mSv)	우주 방사선	주로 태양에서 방출되는 전기 입자가 지구 대기 및 자기장과 상호 작용하여 만들어내는 방사선이다. β선과 γ선이 대부분이며, 지구 자기장의 세기나 고도에 따라 지역마다 다르다.
	지구 방사선	토양, 물, 식물에 포함된 낮은 수준의 방사성 물질이 만들어내는 방사선이다. 우라늄과 이것이 붕괴될 때 나오는 토륨, 라돈 가스, 라듐이 대부분으로, 방사성 물질이 존재하는 정도에 따라 지역마다 다르다.
	인체 방사선	포타슘, 탄소, 납 등의 방사성 동위 원소는 자연 비율만큼 사람의 인체에도 포함되어 있다. 인체 방사선에 의해 연간 받는 방사선량은 4×10^{-4} Sv 정도이다.
인공 방사선	담배, TV, X선 촬영, 방사선 치료, 핵의학, 건축 자재, 형광 물질 등	핵의학에서 사용하는 방사선 동위 원소로는 요오드, 코발트, 세슘 등이 있고, 담배에는 토륨이 포함되어 있다. 공항 검색대나 병원에서 사용하는 X선 촬영기와 TV에서는 X선이 방출된다.

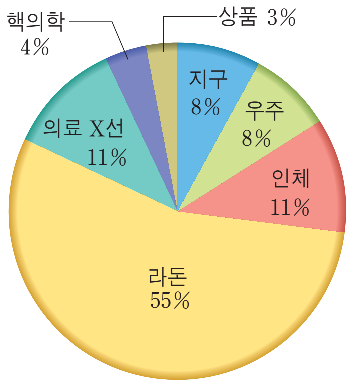


그림 Ⅳ-17 생활 방사선의 구성 비율

표 Ⅳ-4는 생활 방사선의 종류를 나타낸 것이고, 그림 Ⅳ-17은 생활 방사선의 구성 비율을 나타낸 것이다.

인체에는 연간 받는 자연 방사선량의 1천배(약 2.4 Sv) 이상 받아야 구토, 탈모 등과 같은 신체적 이상이 나타난다. 연구에 의하면 수 시간 사이에 3.5 Sv 이상의 방사선을 받은 사람들의 50% 정도가 한 달 이내에 사망하는 것으로 알려져 있다. 신체의 부위마다 방사선에 예민한 정도가 다른데, 임파선, 조혈 기관, 생식 기관, 피부, 눈동자, 위, 실핏줄, 성장 중인 뼈 등은 방사선에 쉽게 손상된다.

3. 방사선의 이용

트리튬 발광

트리튬 발광은 삼중 수소(tritium)가 β 붕괴를 하면서 내놓는 전자를 이용하여 광원으로 사용하는 것을 말한다. 삼중 수소는 수소의 방사성 동위 원소로서, 붕괴를 하면서 전자와 반중성미자를 내놓고 헬륨으로 된다.

$$^{3}_{1}\mathrm{T} \longrightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He} + \mathrm{e}^{-} + \bar{\nu}_{e}$$

이때 방출된 전자는 인과 같은 형광 물질과 충돌하여 가시광선에 해당하는 빛을 내놓는다. 트리튬 발광은 전원 장치 없이 15년 이상 빛을 낼 수 있으며, 여러 발광 물질을 이용하면 다양한 색깔의 빛을 낼 수 있다. 트리튬 발광은 그림 Ⅳ-18과 같이 시계, 안내판, 표지, 항공기 계기판 등 야간에 식별을 위한 발광 장치에 사용된다.



(가) 트리튬 발광을 이용한 시계



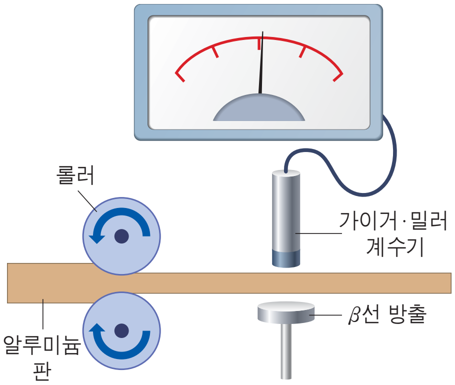
(나) 다양한 빛을 내는 트리튬 발광

그림 Ⅳ-18 트리튬 발광의 이용

두께 검사

β선은 얇은 물체를 만나면 일부는 흡수되고 일부는 투과한다. 두꺼우면 β선을 많이 흡수하고 얇으면 투과하는 β선이 많아진다.

공장에서 종이, 알루미늄 포일, 플라스틱 판과 같이 얇은 물체를 생산할 때는 두께가 항상 일정하게 유지되는지 감시해야 하는데, 이때 그림 Ⅳ-19의 (가)와 같이 β선을 쏘아 흡수되는 정도를 측정하여 두께의 변화를 알아낸다.



(가) β선으로 두께 검사를 한다.



(나) 알루미늄 포일 생산 공장

그림 Ⅳ-19 β선의 이용

연대 측정

방사성 동위 원소의 처음 양과 현재 남아 있는 양을 측정하여 시간을 측정할 수 있다.

살아 있는 식물은 광합성을 통해 대기 중의 이산화탄소를 흡수하기 때문에 나무 조직 속의 탄소 중 방사성 동위 원소 ${}^{14}_{6}C$의 비율은 대기 중의 비율과 같다.

하지만 식물이나 동물이 죽어서 광합성이나 신진 대사를 멈추게 되면 그 안에 남아 있던 ${}^{14}_{6}C$는 계속 붕괴하기 때문에 ${}^{14}_{6}C$와 ${}^{12}_{6}C$의 비율이 바뀐다. 이것을 이용하면 탄소를 포함하고 있는 고고학적 유물들이나 그림 Ⅳ-22와 같은 미라의 연대를 알 수 있다.



그림 Ⅳ-20 400년 전에 묻힌 어린이 미라

질병 진단

$^{11}_{6}C$, $^{13}_{7}C$, $^{15}_{8}C$, $^{18}_{9}F$ 등의 원자핵들은 불안정하여 양전자를 방출하면서 각각 $^{11}_{5}B$, $^{13}_{6}C$, $^{15}_{7}N$, $^{18}_{8}O$이 된다. 이때 방출된 양전자는 주위의 전자를 만나 소멸되어 두 개의 광자로 방출된다.

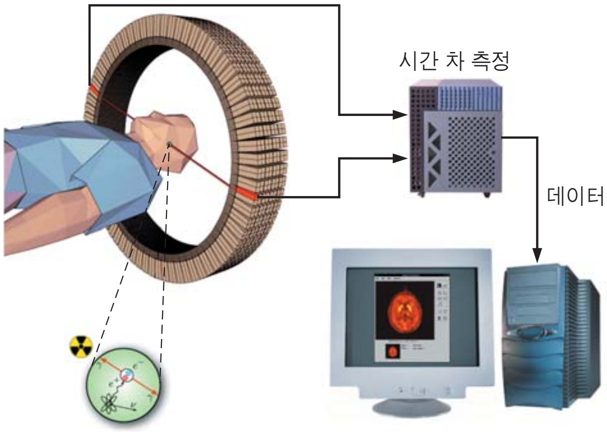
$$e^{-}+e^{+} \rightarrow \gamma+\gamma$$

두 광자는 서로 반대 방향으로 진행하므로 두 광자를 탐지한 시간 차를 알면 양전자가 방출된 위치를 추적할 수 있다.

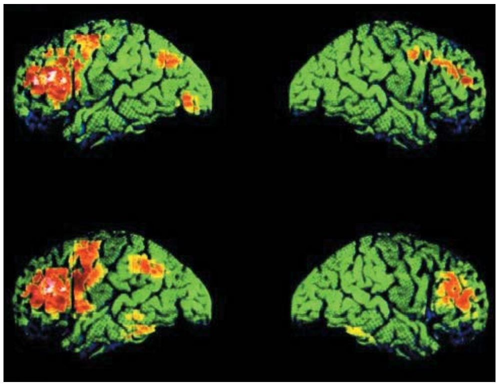
이를 이용하여 신체의 이상 부위를 찾아내는 것을 양전자 방출 단층 촬영(PET)이라고 하다.

PET(Positron Emission Tomography)
양전자 방출 단층 촬영

그림 Ⅳ-23의 (가)는 PET의 작동 원리를 나타낸 것이고, 그림 (나)는 PET로 촬영한 정상인 사람의 두뇌(위)와 정신 분열을 앓고 있는 사람의 두뇌(아래)를 나타낸 것이다.



(가) PET의 작동 원리



(나) PET 영상

그림 Ⅳ-21 PET의 작동 원리와 영상

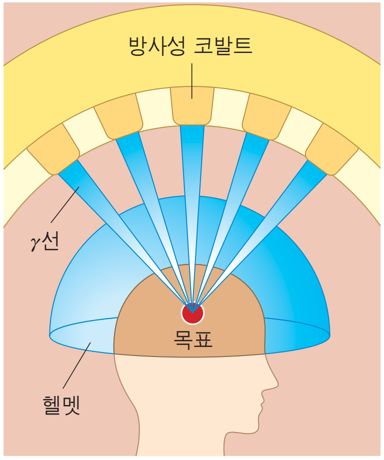


그림 Ⅳ-22 감마 나이프

질병 치료

머리를 절개하는 신경 외과 수술 방식을 대신하여 머리를 절개하지 않은 채 한 번에 다량의 방사선을 조사하여 치료하는 감마 나이프 수술이라고 한다. 고강도의 방사선을 받으면 그 에너지에 의해 세포는 파괴되거나 죽는다. 방사선에 노출된 모든 세포는 모두 영향을 받지만 정상 세포나 건강한 세포는 병든 세포보다 금방 회복된다. 몇몇 종류의 암세포는 방사선에 매우 약하기 때문에 이 세포들이 방사선에 노출되면 더 이상 분열할 수 없게 되고 세포 수는 감소하게 된다.

감마 나이프에서는 그림 Ⅳ-22와 같이 머리 주위에 $^{60}_{27}Co$ 방사선원 201개를 반구형으로 배치하여 각기 다른 방향에서 감마선을 조사하고, 반구 중심

에서 모든 감마선이 교차하도록 한다. 따라서 뇌 안쪽 병소에는 집중적으로 방사선을 조사하면서도 병소 주변과 방사선이 지나는 경로의 방사선은 최소화할 수 있다.



그림 Ⅳ-23 우주 식품

살균

γ선을 식품에 쬐어 주면 부패를 일으키는 미생물이나 해충의 생체 조직을 파괴하여 죽이기 때문에 식품을 오랫동안 신선하게 보관할 수 있다. 저온 살균이 가능하기 때문에 야채나 과일에 이용할 수 있다. 쪼여 준 γ선은 더 이상 식품에 남아 있지 않기 때문에 세계 보건 기구(WHO), 세계 식량 농업 기구(FAQ), 국제 원자력 기구(IAEA)에서는 이것의 안전성을 보장하고 있다.

그림 Ⅳ-25는 한국 원자력 연구원에서 개발한 우주 식품으로 γ선을 이용하여 살균한 것이다.

비파괴 검사

γ선은 세 종류의 방사선 중 투과력이 가장 강하다. 물질에 따라 투과하는 정도가 다를 것이므로 이것을 이용하여 제품의 단면을 자르거나 파괴하지 않고도 그 안의 균열이나 결함을 찾아 낼 수 있다. 용접을 한 부위에 대해서도 매우 강한 γ선을 이용하여 내부의 결함을 찾아낼 수 있다.

4. 핵반응

핵이 분열하거나 서로 합쳐지는 것을 핵반응이라고 하며, 이때 막대한 에너지가 나온다. 그 까닭은 핵반응 이후에 질량의 총합이 조금 감소하며, 사라진 질량은 아인슈타인의 질량 · 에너지 관계식에 따라 에너지로 전환되기 때문이다. 핵반응이 일어날 때 중성자가 양성자로 바뀌거나 또 그 반대의 일도 일어날 수는 있지만 반응 전후의 핵자의 총수와 전하량의 총합은 바뀌지 않는다.

핵융합

양성자는 양의 전하를 띠고 있기 때문에 가까이 붙어 있는 양성자들 사이에는 강한 전기적 반발력이 작용한다.

따라서 핵자들이 서로 붙어서 핵을 이루려면 이보다는 훨씬 강한 핵력이 작용해야만 한다.



베테(Bethe, H.; 1906~2005)
독일의 물리학자. 태양에서의 핵반응 연구로 1967년 노벨 물리학상을 수상하였다.

네 개의 수소 원자핵이 몇 단계를 거쳐 헬륨 원자핵으로 변환되는 핵융합 과정은 별이 빛에너지를 만들어 내는 데에 매우 중요한 과정으로 1930년대에 와서야 베테 등의 과학자들에 의해 그 비밀이 밝혀졌다.

핵융합이 실험실 상황에서 일어나게 하기 위해서는 내부의 온도를 수십억 도까지 올려 주어야 한다. 수소 폭탄에서는 원자 폭탄이 터질 때에 발생하는 막대한 열에너지를 이용하여 중수소들을 융합하게 된다. 하지만 이것은 매우 급격하게 일어나는 반응으로써, 이때 발생하는 에너지를 유용하게 쓸 방법은 없다.

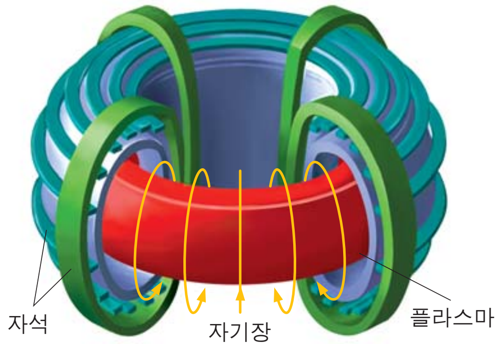
아직까지 조절이 가능한 핵융합 실험이 성공한 사례는 없지만 세계 각국에서 연구가 활발하게 진행되고 있다.

우리나라에서도 국가 핵융합 연구소(NFRI)를 설립하여 연구를 지원하고 있다. 실험실에서는 수소를 융합하는 것은 매우 어렵지만 중수소 ^{2}H와 삼중수소 ^{3}H를 충돌시켜 헬륨으로 융합시키는 것은 가능할 것으로 보고 있다.

$$^{2}H + ^{3}H \longrightarrow n + ^{4}He + 17.6\ \text{MeV}$$



(가) 토카막 내부



(나) 토카막에서 자기장에 의해 플라스마를 가두는 원리

그림 Ⅳ-24 국가 핵융합 연구소의 토카막

그러면 온도가 수십억 도인 물질은 어디에 담아야 할까?

이 정도의 온도에서 물질은 모든 원자의 전자와 원자핵이 완전하게 자유롭게 된 플라스마라고 하는 상태에 놓이게 된다. 높은 온도에서 매우 활발하게 운동하는 원자핵과 전자들을 벽에 닿지 않게 가두어 둘 수 있는 장치 중의 하나가 그림 Ⅳ-24와

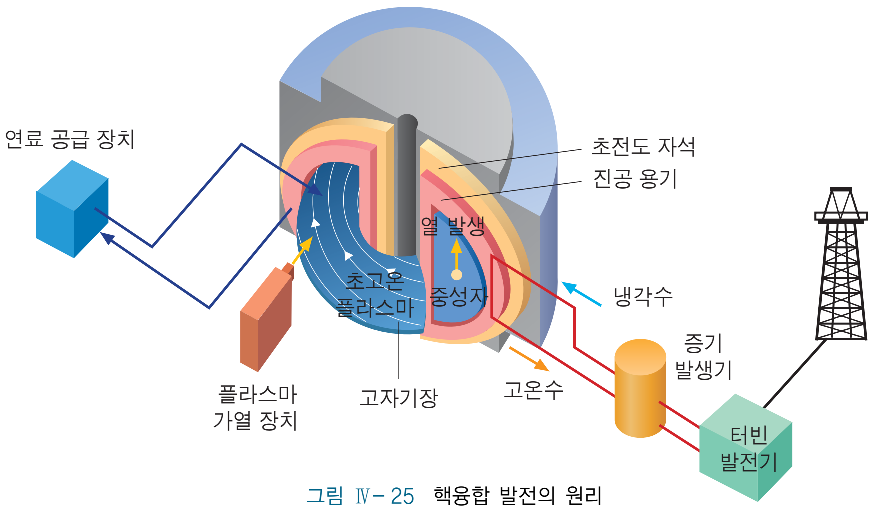


그림 Ⅳ-25 핵융합 발전의 원리

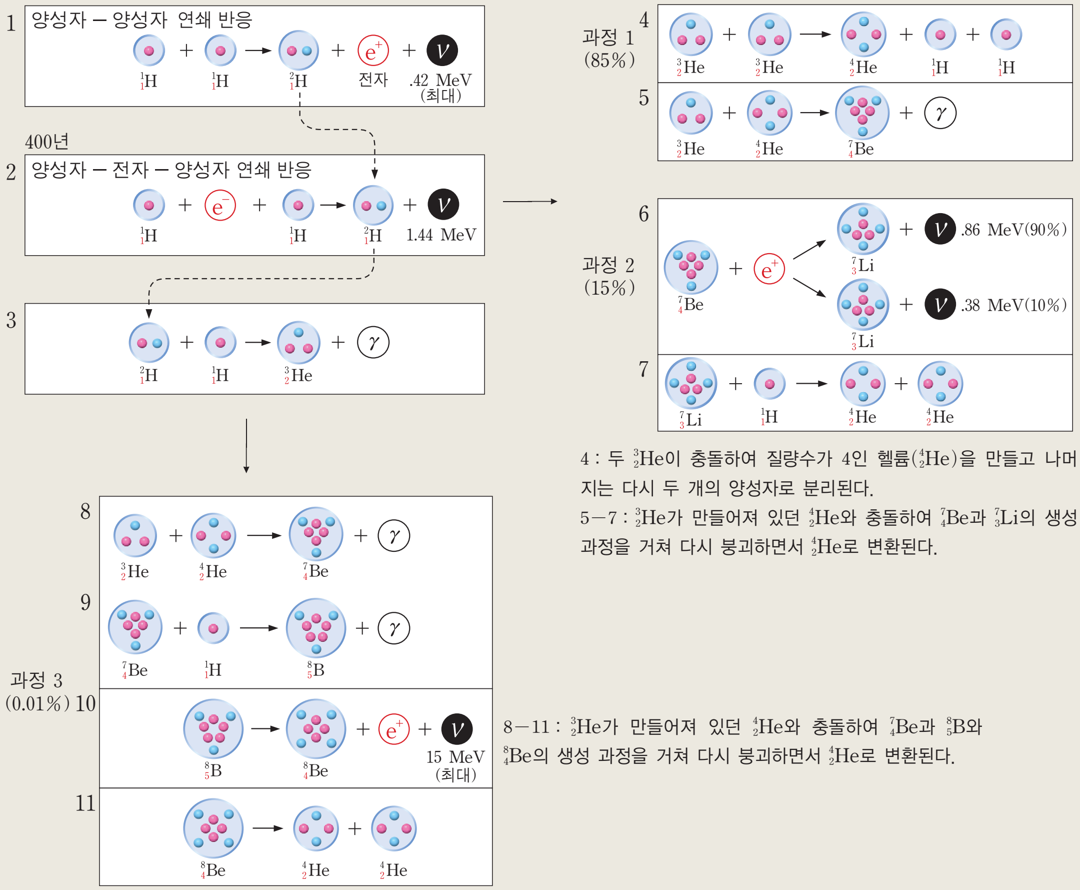
같은 토카막인데 도넛 모양의 공간에 자기장을 걸어 그 안에 높은 온도의 플라스마를 가두게 된다. 핵융합로에서는 이 핵융합 과정에서 발생하는 고속의 중성자가 가지고 있는 운동 에너지를 활용하여 그림 Ⅳ-25와 같이 발전을 한다. 이때 중성자들은 토카막 벽에 발라진 리튬 원자핵을 때려 삼중 수소 두 개로 분열하게 하여 핵융합 원료를 재공급하는 역할도 한다.

연구 3. 국가 핵융합 연구소를 직접 견학하거나 또는 인터넷으로 홈페이지를 방문하여 핵융합에 대해 자세히 알아보자.

한 걸음 더

다음 그림은 베테의 이론적인 태양의 모형에서 주된 에너지원인 p-p 연쇄 핵반응을 설명한 것이다. 별의 진화에서 두 양성자가 충돌하여 중수소핵이 되는 것으로부터 핵의 연소가 시작된다.

1과 2 : 두 양성자($^{1}_{1}H$)가 충돌하여 중수소핵($^{2}_{1}H$)을 만든다.
3 : 중수소핵($^{2}_{1}H$)과 양성자($^{1}_{1}H$)가 충돌하여 질량수가 3인 헬륨($^{3}_{2}He$)을 만든다.



4 : 두 $^{3}_{2}He$이 충돌하여 질량수가 4인 헬륨($^{4}_{2}He$)을 만들고 나머지는 다시 두 개의 양성자로 분리된다.
5−7 : $^{3}_{2}He$가 만들어져 있던 $^{4}_{2}He$와 충돌하여 $^{7}_{4}Be$과 $^{7}_{3}Li$의 생성 과정을 거쳐 다시 붕괴하면서 $^{4}_{2}He$로 변환된다.

8−11 : $^{3}_{2}He$가 만들어져 있던 $^{4}_{2}He$와 충돌하여 $^{7}_{4}Be$과 $^{8}_{5}B$와 $^{8}_{4}Be$의 생성 과정을 거쳐 다시 붕괴하면서 $^{4}_{2}He$로 변환된다.

태양에서의 p-p 연쇄 핵반응



슈트라스만(Strassmann, J.; 1902~1980, **독일**), **마이트너**(Meitner, L.; 1878~1968, **오스트리아**), **한**(Hahn, O.; 1879~1968, **독일**)

한은 핵분열 발견으로 1948년 노벨 화학상을 수상하였다.

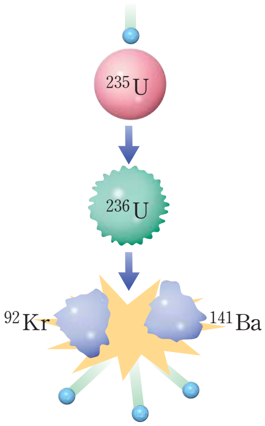


그림 Ⅳ-26 우라늄의 핵분열

핵분열

1938년 한, 슈트라스만, 마이트너는 우라늄에 중성자를 쪼여 주면 바륨이 만들어진다는 것을 발견하였다. 그 당시에는 핵반응에서 나올 수 있는 입자들이 양성자나 중성자 또는 헬륨 원자핵이었으므로 바륨이 만들어지는 것은 매우 흥미롭고 이해하기 어려운 일이었다. 이것은 그림 Ⅳ-26과 같이 우라늄 원자핵이 보다 가벼운 원자핵들로 쪼개진 결과로서 핵반응식으로 나타내면 다음과 같다.

$$^{235}_{92}\mathrm{U}+^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow\ ^{141}_{56}\mathrm{Ba}+^{92}_{36}\mathrm{Kr}+3^{1}_{0}\mathrm{n}+200\ \mathrm{MeV}$$

예제 7

$^{235}_{92}\mathrm{U}+^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow\ ^{141}_{56}\mathrm{Ba}+^{92}_{36}\mathrm{Kr}+3^{1}_{0}\mathrm{n}+200\ \mathrm{MeV}$에서 질량 · 에너지 동등성을 이용하여 핵분열 전후 달라진 총 질량을 계산하라.

해설 | $\Delta E=\Delta mc^2=\Delta m\times(3\times10^8\ \mathrm{m/s})^2=200\ \mathrm{MeV}$로부터 $1\ \mathrm{eV}=1.6\times10^{-19}\ \mathrm{J}$

$$\Delta m=\frac{(200\times10^6\ \mathrm{eV})\times(1.6\times10^{-19}\ \mathrm{J/eV})}{(3\times10^8\ \mathrm{m/s})^2}=3.5\times10^{-28}\ \mathrm{kg}$$

이 에너지로 방출되었다. 질량의 변화는 결합 에너지의 변화를 의미한다.

답 3.5×10^{-28} kg

우라늄의 핵분열에서 눈여겨 볼 것은 그 결과로 여러 개의 중성자가 만들어진다는 것이다. 실제로 한 개의 우라늄이 분열할 때 평균 2.3개의 중성자가 만들어진다. 이 중성자들이 계속해서 다른 우라늄을 분열하도록 하게 하여 연쇄 반응을 일으킬 수 있다면 막대한 에너지를 얻을 수 있다.

예제 8

한 번 핵분열에 2개씩 중성자가 방출된다고 가정하자.

(1) 연쇄 반응이 80번 일어나면 몇 개의 우라늄 핵이 분열하는가?

(2) 이때 방출되는 에너지는 얼마인가?

해설 | (1) $1+2+4+\cdots+2^{80}\simeq2^{81}\simeq2.4\times10^{24}$개이다. 약 4몰의 우라늄이 붕괴한다.

(2) 한 개가 분열할 때 나오는 에너지가 3×10^{-11} J이므로 방출되는 전체 에너지는 $(3\times10^{-11}\ \mathrm{J})\times(2.4\times10^{24})=7.2\times10^{13}$ J이다. 이것은 TNT 2만 톤의 위력과 맞먹는 것으로 900 MW급 발전소에서 열흘 동안 발전하는 양이다.

답 (1) 2.4×10^{24}개 (2) 7.2×10^{13} J

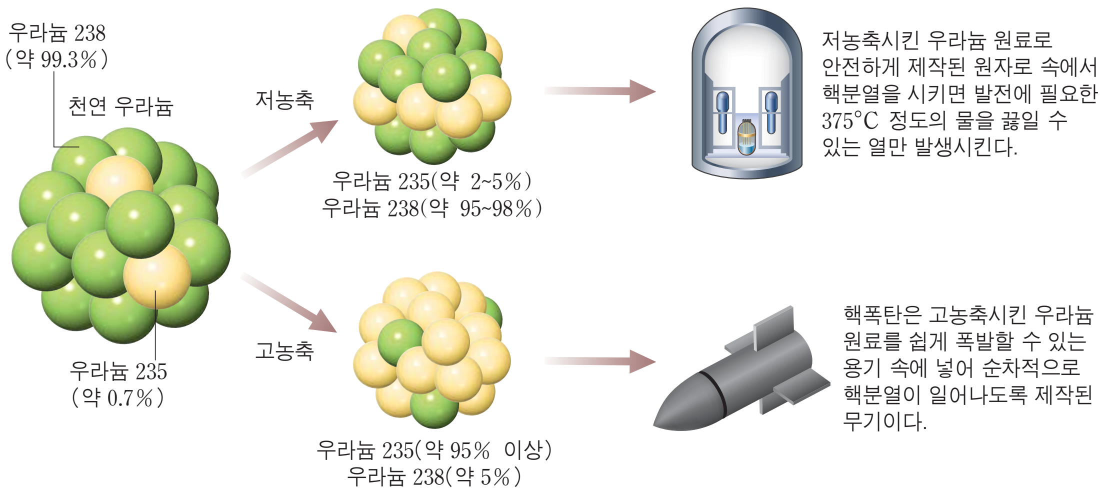


그림 Ⅳ-27 **천연 우라늄의 농축**

핵분열 결과 나온 중성자들은 속력이 매우 빠르다. 고속 중성자는 다른 우라늄에 흡수가 잘 되지 않을 뿐 아니라 ${}^{238}_{92}U$과 ${}^{235}_{92}U$에 거의 같은 비율로 흡수되기 때문에 연쇄 반응을 일으키려면 ${}^{235}_{92}U$의 양이 충분히 많게 농축을 하거나 중성자의 속력을 낮춰 주어야 한다.

충분히 속력을 낮춘 저속 중성자는 고속 중성자에 비해 ${}^{235}_{92}U$에 흡수되는 것이 1000배 정도 높다. 연쇄 반응을 빠르게 일어나게 하면 핵폭탄과 같은 큰 에너지를 순식간에 방출할 수 있지만, 연쇄 반응을 천천히 일어나도록 조절하면 에너지를 오랜 시간 유용하게 사용할 수 있다.

그림 Ⅳ-27과 같이 천연 우라늄에는 16가지의 우라늄 동위 원소 중 ${}^{238}_{92}U$이 99.3%를 차지하고, 핵분열을 쉽게 일으키는 ${}^{235}_{92}U$는 0.7%밖에 포함되어 있지 않기 때문에 핵연료로 사용하기 위해서는 우라늄을 농축해야 한다. 천연 우라늄에서 우라늄 235를 90% 이상 농축하면 원자 폭탄을 만드는 데 사용할 수 있지만, 2~5%로 저농축하면 핵발전에 사용할 수 있다. 핵발전의 연료로는 주로 ${}^{235}_{92}U$나 ${}^{239}Pu$가 사용된다.

5. 원자로

원자로에서는 저농축된 핵연료가 핵분열을 천천히 일으킬 수 있도록 감속재를 사용한다. 즉 감속재는 고속 중성자의 속력을 느리게 하여 고속 중성자로 만들거나 핵에 충돌하는 중성자 개수를 줄임으로써 핵분열이 일정하고도 지속적으로 일어나도록 만드는 역할을 한다. 감속재로는 경수, 중수, 파라핀, 흑연, 베릴륨 등을 사용하는데, 많은 발전용 원자로에서는 특히 냉각재의 역할도 할 수 있는 경수와 중수를 감속재로 사용한다. 천연 우라늄을 연료로 사용하는 경우 감속재로 중수(D_2O)를 사용하기 때문에 이때 원자로 유형을 **중수로**라고 한다. 저농축된 우라늄 235를 사용하는 경우 경수(H_2O)를 감속재로 사용하기 때문에 **경수로**라고 한다.

${}^{235}_{92}U$의 반감기

${}^{235}_{92}U$는 7억 년 정도이고, ${}^{238}_{92}U$은 44억 년이다. 즉, 지난 45억 년 동안 ${}^{238}_{92}U$은 반으로 줄어든 반면 ${}^{235}_{92}U$는 약 $\left(\frac{1}{2}\right)^7$으로 줄어들었다. 따라서 지구가 만들어질 당시에는 ${}^{238}_{92}U$과 ${}^{235}_{92}U$이 거의 같은 비율로 존재했으나 ${}^{235}_{92}U$가 거의 붕괴해 버린 것이다. 우라늄 ${}^{235}_{92}U$ 1몰의 질량은 235g이므로 4몰은 1kg 정도이다. 하지만 순수한 ${}^{235}_{92}U$는 자연 상태에서 거의 존재하지 않고, 원자로에서 사용하는 농축 우라늄에는 약 4%의 ${}^{235}_{92}U$가 들어 있다. 나머지는 ${}^{238}_{92}U$이다. 따라서 900MW급 원자력 발전소에서는 매일 2kg 정도의 핵연료가 소모된다.

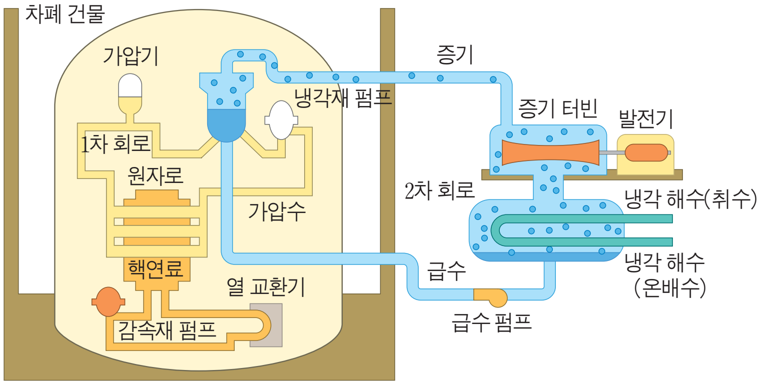


그림 Ⅳ-28 가압 중수로의 구조

중성자를 제어하는 감속재에 따라 원자로를 흑연로, 경수로, 중수로로 구별한다.

그림 Ⅳ-28은 중수로의 작동 원리를 나타낸 것이다. 핵이 분열하여 에너지가 나오는 곳을 원자로의 **노심**이라고 한다. 그림 Ⅳ-29와 같이 노심에서는 천연 우라늄을 막대 모양으로 가공한 연료봉 다발을 중수에 담가 둔다. 여기에는 카드뮴 등으로 만든 제어봉이 들어 있어서 연쇄 반응의 속도를 조절한다. 감속재인 중수는 핵분열 과정에서 발생한 고속 중성자의 속력을 늦추어 주는 역할을 할 뿐 아니라 그 과정에서 중성자가 가지고 있던 에너지를 받아들여 매우 높은 온도의 열탕을 만들어 준다. 가압 중수로에서는 매우 높은 압력의 물이 순환하여 노심의 열에너지를 증기 발생기에 전달한다. 1기압에서 물은 100 ℃에서 끓지만 1차 회로 내에서는 압력이 매우 높아 수백도에서도 물이 끓지 않기 때문에 이런 구조를 가진 원자로를 **가압 중수로**라고 한다.



연료봉 다발

1차 회로의 물이 증기 발생기를 지나면서 2차 회로의 물을 끓이면 이때 발생한 증기가 터빈을 돌려 발전을 한다. 증기 터빈을 돌리고 난 증기는 다시 외부에서 유입된 찬물에 의해 물로 응축된 후 다시 증기 발생기에 공급된다. 원자력 발전소가 강이나 바닷가에 있는 까닭은 증기를 응축시키기 위해 많은 물이 필요하기 때문이다. 냉각수에 의해 원자로 부근의 바닷물의 온도가 1 ℃ 정도 높아져서 해양 생태계를 바꾸기도 한다.

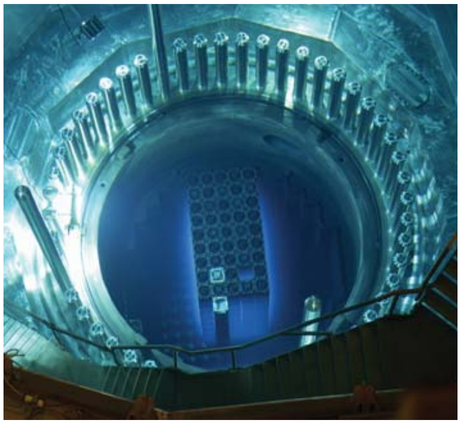


그림 Ⅳ-29 원자로의 연료 장전

그림 Ⅳ-30은 가압 경수로의 작동 원리를 보여준다. 여기에서는 경수, 즉 보통의 물을 감속재로 사용한다. 하지만 중수에 비해 경수는 중성자를 감속하는 데 효율이 떨어지기 때문에 ${}^{235}_{92}U$의 농도가 4 % 정도로 되도록 농축시킨 연료를 사용한다. 또한 노심의 온도가 매우 높기 때문에 압력을 높여서 1차 회로의 물이 끓지 않도록 해야 한다. '가압 경수로'라는 이름이 붙은 것은 이 때문이다.

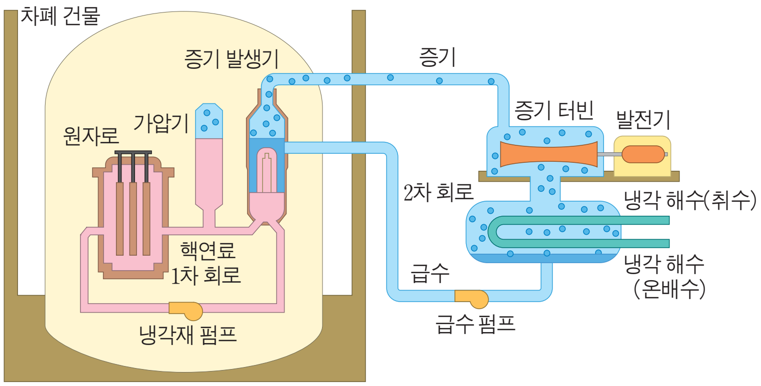


그림 Ⅳ-30 가압 경수로의 구조

아직 상용 원자로의 수준은 아니지만 고속 증식로라고 부르는 원자로를 세계

여러 나라에서 개발 중이다. 증식로라는 이름은 연료를 사용하면 할수록 원자로 내에서 더 많은 연료가 만들어지기 때문에 붙은 것이다. 예를 들어 플루토늄을 연료로 사용하는 원자로를 생각해 보자.

약간의 플루토늄과 천연 우라늄을 노심에 넣고 발전을 시작한다. 플루토늄의 분열에서 나온 중성자는 다른 플루토늄에 작용하여 핵분열의 연쇄 반응을 일으키기도 하고 혹은 천연 우라늄 안에 들어 있는 $^{238}_{92}U$을 플루토늄으로 변환하여 새로 플루토늄을 보급한다. 따라서 보급한 핵연료를 사용하면 교체해 주어야 하는 지금까지의 원자로와는 달리 스스로 연료를 증식해가며 발전을 계속할 수 있는 것이다. 하지만 이 원자로는 고속 중성자를 사용하여야 하므로 물이나 중수와 같은 감속재를 사용하지 못한다. 고속 증식로에 사용할 수 있는 소듐과 같은 물질을 감속재로 사용하여야 하는데, 이것은 큰 위험이 있어서 아직 여러 문제점을 기술적으로 해결하지 못하고 있다.

연구 4. 가압 경수로, 가압 중수로, 고속 증식로의 차이를 연료, 냉각제 등에서 찾아 설명하여 보자.

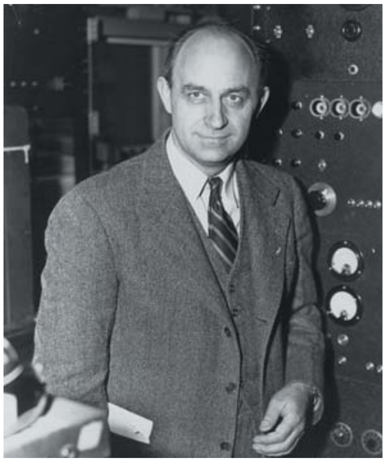
과학사

페르미

우라늄에 중성자를 때려 볼 생각을 처음으로 한 사람은 페르미였다. 그는 1934년 퀴리 부부의 인공 방사성 원소의 발견에 자극을 받아 모든 원소에 중성자를 때려 원소를 변환하는 실험을 하였다.

중성자는 α 입자와는 달리 전하를 띠지 않으므로 전기적인 반발력이 없어서 반응이 쉽게 일어날 것이라는 생각에서였다.

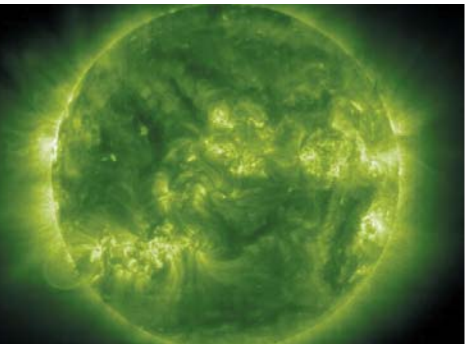
그는 파라핀과 같은 물질로 중성자의 속력을 느리게 해주면 핵반응이 잘 일어난다는 것을 발견하였고, 그 결과 여러 인공 방사성 원소를 만들어 낼 수 있었다. 그 공로로 페르미는 1938년에 노벨 물리학상을 수상하였다.



페르미(Fermi, E.; 1901~1954)
이탈리아의 물리학자. 1938년 노벨 물리학상을 받았다.

페르미는 중성자를 흡수한 우라늄이 붕괴를 한 것으로 짐작되는 전자들을 감지하였고, 그는 이것을 우라늄보다 원자 번호가 높은 원소가 인공적으로 생성된 것으로 믿어 오소늄(Ausonium), 에스페리움(Hesperium) 등으로 명명하기까지 하였다.

독일의 화학자인 이다 노닥은 페르미의 실험을 우라늄이 가벼운 핵으로 분열되는 것으로 해석할 수 있다고 제안하였으나 받아들여지지 않았고, 그녀 역시 더 이상 연구를 계속하지 않았다. 그리하여 핵분열의 발견은 한, 마이트너, 슈트라스만의 공로가 되었다.



4 태양 전지와 신 · 재생 에너지

학습 목표

1. 태양 전지의 원리를 알고 생활에서 이를 어떻게 활용하는지 사례를 찾아본다.
2. 신 · 재생 에너지를 이용한 발전의 원리를 이해한다.
3. 신 · 재생 에너지에 의한 발전의 장단점과 전망을 안다.

1. 태양 전지

태양 전지는 광기전력 효과를 이용하여 태양 에너지를 전기 에너지로 변환할 수 있는 장치이다. 그림 Ⅳ-31과 같이 실리콘은 4개의 외각 전자를 갖는 4족 원소이다. 여기에 3족 원소인 붕소(B)를 미량 첨가하면 실리콘과 전자 하나가 부족한 결합을 하게 되어 양공을 갖는 p형 반도체가 된다. 그러나 5족 원소 인(P)을 주입하면 전자 하나가 남는 결합을 하여 n형 반도체가 된다. p형 반도체와 n형 반도체를 접합하고 빛을 쏘이면 빛의 일부가 반도체에 흡수되면서 전자 · 양공 쌍을 만든다. 이들 쌍이 p-n 접합부에 형성된 전기장에 의해 전자는 n층으로, 양공은 p층으로 이동하여 p형 반도체와 n형 반도체 사이에 기전력이 발생한다.

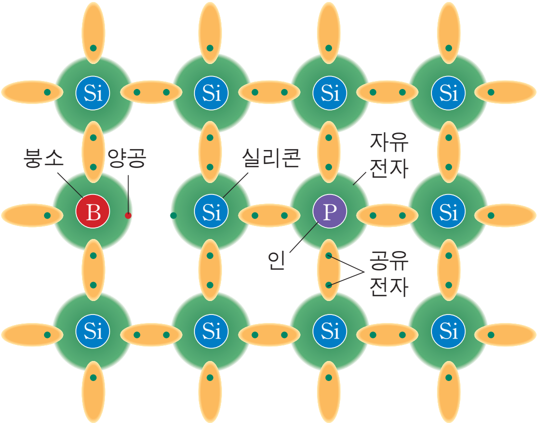


그림 Ⅲ-31 불순물이 첨가된 실리콘 반도체

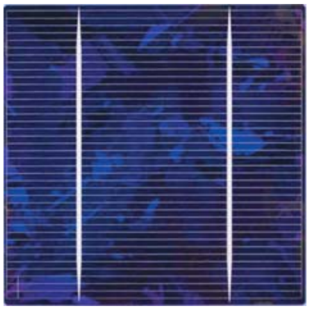
태양 전지의 종류

현재 가장 실용화가 먼저 이루어져서 태양 전지 시장의 대부분을 차지하고 있는 것은 효율 15~17% 정도의 실리콘 태양 전지이다. 실리콘 태양 전지에는 단결정, 다결정, 박막형 다결정, 비정질 등이 있다. 그림 Ⅳ-32의 (가)와 같은 단결정형은 효율이 비교적 높고 대규모 발전에 사용되나 가격이 비싸다. 그림 (나)와 같은 다결정형은 효율이 비교적 낮으나 가격이 싸서 주택용 태양 발전에 많이 사용되고 있다.

실리콘 태양 전지는 재료 자체가 비싸고 제조 공정이 복잡하여 가격을 낮추는 데 한계가 있다. 따라서 같은 양의 실리콘으로 더 많은 태양 전지를 생산할 수 있도록 기판의 두께를 혁신적으로 줄이거나 박막 형태로 태양 전지를 만드는 기술이 주목받고 있다.



(가) 단결정 태양 전지

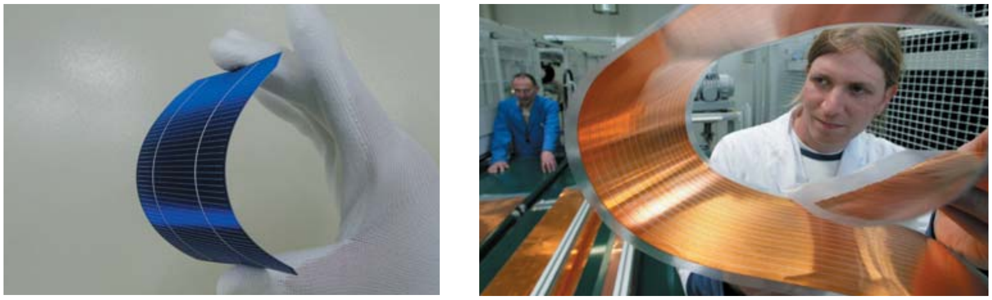


(나) 다결정 태양 전지

그림 Ⅳ-32 태양 전지의 종류

그림 Ⅳ-33의 (가)와 같은 박막형 태양 전지는 유리, 스테인리스, 플라스틱과 같이 값싼 가격의 기판 위에 실리콘, 구리 · 인듐 화합물, 카드뮴 화합물, 유기 물질 등을 수십 μm 두께로 증착한 것이다. 박막형은 아직 효율이 낮고 가격이 비싸지만, 구부리거나 휠 수 있으며 건물의 유리창 자체를 태양 전지로 만들 수 있다는 장점이 있다. 심지어 인쇄하듯이 대량으로 찍어낼 수도 있어서 앞으로 전망이 매우 큰 태양 전지이다.

그림 (나)와 같은 염료를 소재로 광합성 원리를 이용한 염료 감응 태양 전지는 태양 빛을 받으면 전자를 방출하는 특정 염료와 전해질을 이용해 전기를 만드는 기술이



(가) 실리콘 박막 태양 전지 (나) 염료 감응 태양 전지

그림 Ⅳ-33 실리콘 박막 태양 전지와 염료 감응 태양 전지

다. 제조 비용이 적게 들고 나노 입자를 사용하기 때문에 반투명한 태양 전지를 만들 수 있다. 염료 감응 태양 전지는 건물 일체형 태양광 발전 시스템에 적용될 수 있다. 그러나 아직 소형으로만 생산할 수 있고 효율도 10%가 되지 않아 실용화에 어려움이 있다.

앞으로 태양 전지는 값싸고 손쉽게 생산할 수 있으면서 에너지 변환 효율을 높이는 방향으로 개발될 것이다. 또한 대규모 발전 시설에 설치하는 것 이외에도, 얇고 유연성을 극대화하여 휴대성을 좋게 하고 어느 곳에도 설치가 가능하게 될 것이다. 심지어 옷과 같이 입을 수 있어서 개인에게 필요한 전기 에너지를 태양으로부터 쉽게 얻게 하는 것이 달성될 수 있을 것이다.

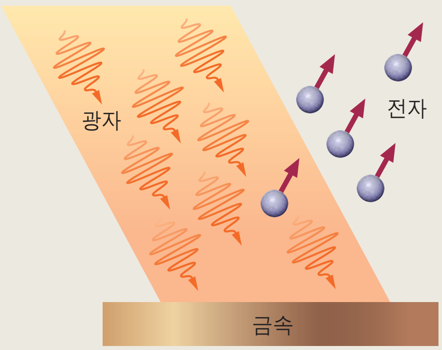
표 Ⅳ-5 태양 전지의 분류

태양 전지	실리콘 계열	단결정
		다결정
		박막형
	화합물 반도체	Ⅱ-Ⅳ족 GdTe, CIS 등
		Ⅲ-Ⅴ족 GaAs, ImP, In GaAs 등
		기타 : 염료 감응형

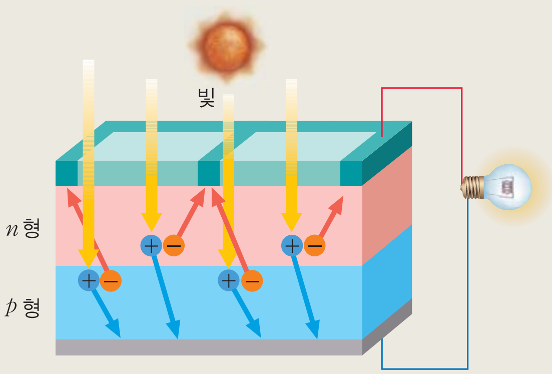
한걸음 더

광전 효과와 광기전력 효과

빛에 의해 기전력이 발생되는 것에는 광전 효과와 광기전력 효과가 있다. 빛이 금속 표면에서 비춰질 때 공간에 자유 전자가 방출되는 것을 이용하여 기전력을 얻는 것이 광전 효과이고, 빛을 받은 반도체에서 전자와 양공이 서로 반대 방향으로 이동하면서 기전력이 발생하는 것을 광기전력 효과라고 한다. 원리상으로는 두 가지 방법 모두 태양 전지로 사용될 수 있다. 그러나 현재 모든 태양 전지는 여러 가지 이점 때문에 반도체에 의한 광기전력 효과를 이용하고 있다.



광전 효과



광기전력 효과

지구에서 받는 태양 에너지의 규모

지구에 있는 모든 화석 연료가 가진 에너지는 지구가 태양으로부터 20일 동안 받을 수 있는 에너지에 불과하다. 또한 지구가 40분간 받는 태양 에너지의 양은 인류가 1년간 사용하는 에너지 양과 같다. 이것은 지구가 하루에 받는 태양 에너지로 지구에서 36년간 사용할 수 있다는 것을 의미한다. 현재 사용하고 있는 태양 에너지는 전체 소비 에너지의 1% 정도 이다.

가정에서 태양 전지의 이용

일반적으로 사용하는 태양 전지 하나가 출력하는 최대 전력은 약 1.5 W로서 전압과 전류가 매우 낮다. 이것으로는 가정의 전기 제품들을 작동할 수 없기 때문에 마치 건전지를 연결하듯이 태양 전지 여러 개를 직렬 및 병렬로 연결하고, 유리와 프레임으로 보호한 태양 전지 모듈을 만들어 수백 와트급의 전력까지 생산할 수 있게 제작하여 사용한다. 태양광 발전기는 이 모듈을 다시 여러 개 직렬 및 병렬로 연결하여 만들어진다. 태양 전지 모듈은 보통 20년 정도 고장 없이 사용할 수 있다.

가정용 태양광 발전은 한 가정에서 사용하는 데 충분하지 않고 밤과 낮의 생산량이 다르기 때문에 축전지에 저장하거나 전기 회사의 전력망과 연결하여 사용한다. 또 태양 전지에서 나오는 직류 전압을 가정에서 사용하기 위해서는 직류를 교류로 바꾸어 주어야 한다. 이때 직류를 교류로 바꾸어 주고 전력망과 연결해 주는 장치를 **교류 변환기**라고 한다. 따라서 태양 전지에서 생산되어 쓰고 남은 전기를 전력망으로 보내고 부족할 때는 전력망으로부터 전기를 공급받을 수 있다.

가정에서 태양 전지 패널을 설치할 때는 태양으로부터 빛을 수직으로 받는 시간이 가능하면 최대가 되도록 해야 한다. 따라서 고정식 태양 전지는 정남쪽을 향하고 각도는 그 지역의 위도와 같도록 해야 한다.

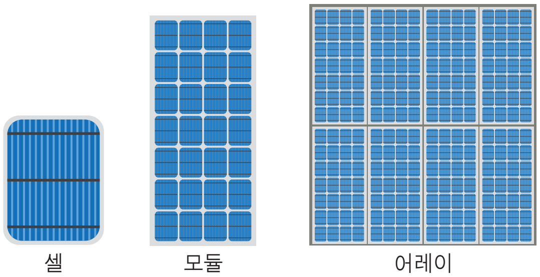


그림 Ⅳ-34 태양 전지 단위



그림 Ⅳ-35 교류 변환기

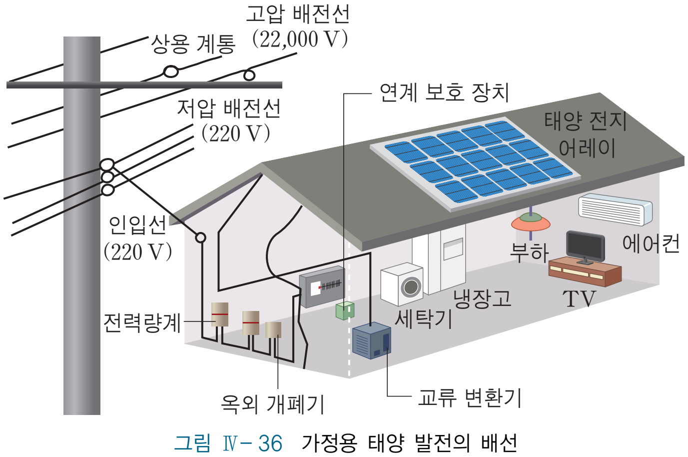


그림 Ⅳ-36 가정용 태양 발전의 배선

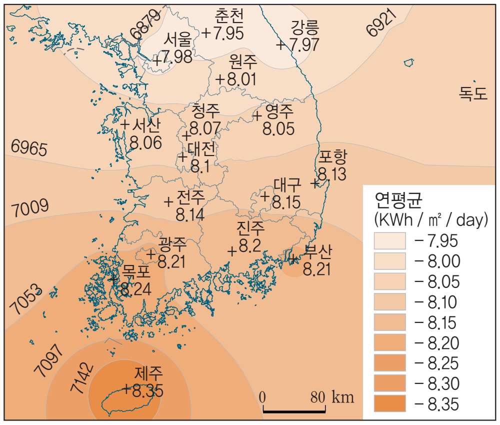


그림 Ⅳ-37 전국 대기권 밖 일사량 자원 지도

2. 신 · 재생 에너지

신 · 재생 에너지란 신에너지와 재생 에너지를 합쳐 부르는 용어이다. '신에너지 및 재생 에너지 이용 · 개발 · 보급 촉진법' 제2조에 의하면 신 · 재생 에너지는 기존의 화석 연료를 변환시켜 이용하거나 햇빛, 물, 지열, 강수, 생물 유기체 등을 포함하여 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 것이라고 정의하고 있다.

우리나라 정부에서 규정한 신에너지로는 연료 전지, 수소 에너지, 석탄 액화 · 가스화 등 3개 분야가 있고, 재생 에너지로는 태양 에너지, 바이오 에너지, 풍력 에너지, 수력 에너지, 지열 에너지, 해양 에너지, 폐기물 에너지 등 8개 분야가 있다.

즉 신 · 재생 에너지는 매장된 연료 자원에 지나치게 의존하는 것을 막고 환경 훼손과 오염이 적으면서 재생 가능하거나 에너지 변환 효율이 높은 에너지나 그러한 에너지의 활용 방식을 의미한다.

물음 3. 신 · 재생 에너지는 기존 에너지원과 무엇이 다르고, 어떤 장점이 있는가?



그림 Ⅳ- 38 신 · 재생 에너지의 이용

연료 전지

연료 전지는 수소와 산소가 전기 화학 반응에 의해 전기를 생산하고 부산물로 물과 열을 얻는 장치이다. 연료 전지는 중간에 여러 번 에너지 변환을 거치지 않고 화학 반응을 통해 전기를 직접 생산하기 때문에 에너지 변환 효율이 매우 높다. 연소 장치가 필요하지 않기 때문에 소음이 없을 뿐만 아니라 휴대할 수 있을 정도로 매우 작게 만들 수 있다. 더욱이 반응열에 의해 부산물로 뜨거운 물이 나오기 때문에 대용량 연료 전지에서는 난방이나 온수 공급까지 할 수 있는 장점이 있다. 또한 공급할 수 있는 전기 용량이 같은 크기의 전지보다 훨씬 크기 때문에 앞으로 기존의 전지를 대체할 수 있는 수단으로 사용될 것이다.

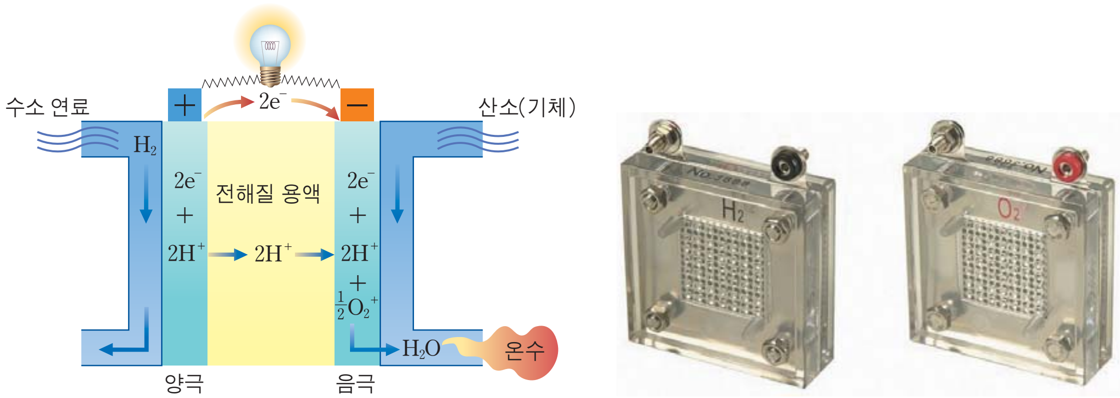


그림 Ⅳ-39 연료 전지의 작동 원리

연료로는 순수한 수소를 사용하기도 하지만 수소 원자가 포함된 화석 연료와 같은 수소 탄화물이나 알코올도 가능하며, 산화제로는 산소 이외에 공기를 사용할 수 있다. 연료 전지는 수소가 촉매나 다공성 전극을 통과하면서 이온화되어 음극에서 산소와 반응하면서 기전력을 발생하는 방식으로서, 전극이나 전해질의 종류에 따라 표 Ⅳ-6과 같이 여러 종류로 나누어진다. 대표적인 반응 과정은 다음과 같다.

양극 : $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

음극 : $\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$

표 Ⅳ-6 대표적인 연료 전지의 종류

유형	고분자 전해질형(PEM)	고체 산화물형 (SOFC)	용융 탄산염형 (MCFC)	알카리형 (AFC)	인산형 (PAFC)
전해질	이온 교환막	세라믹	수산화칼륨	수용액	인산염
용도	휴대용, 차량, 가정용 발전	발전용, 차량	발전소	인공위성	발전용, 발전소

연구 5. 국내에서 연료 전지 방식으로 발전하는 사례를 알아보자. 또 연료 전지를 이용한 교통수단이 어디까지 발전해 있는지 조사해 보자.



(가) 수중에서 연료 전지로 추진되는 1800톤급 안중근함



(나) 수소 연료 전지를 이용한 비행기

그림 Ⅳ-40 수소 연료 전지의 이용 예

풍력 발전

풍력은 자연의 바람을 이용하기 때문에 에너지 구입 비용이 들지 않고 대기 오염이 없는 에너지원으로서, 특히 풍력을 이용한 발전은 오늘날 경제성이 높은 대체 에너지원 중 하나이다.

풍력 발전기는 그림 Ⅳ-42와 같이 크게 날개, 돌개, 기어 박스, 발전기, 통제 장치 부분으로 구성된다.

날개는 바람을 받아 돌림힘을 발생시키며, 돌개는 한 개 이상의 날개로 구성된 회전체이다. 기어 박스는 돌개의 회전을 발전기에 전달할 때 회전 속도를 조절하는 역할을 한다. 발전기에서는 패러데이의 전자기 유도 법칙을 이용하여 발전한다. 통제 장치는 풍속과 풍향이 변해도 발전을 일정하게 유지하고 강한 바람에 돌개가 파손되거나 발전기가 과열되는 것을 막는다.

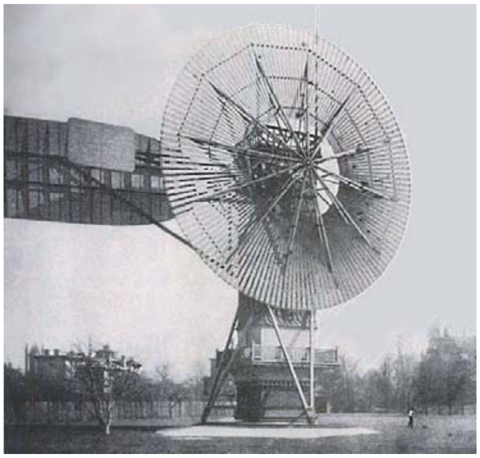


그림 Ⅳ-41 1888년 세계 최초의 풍력 발전기

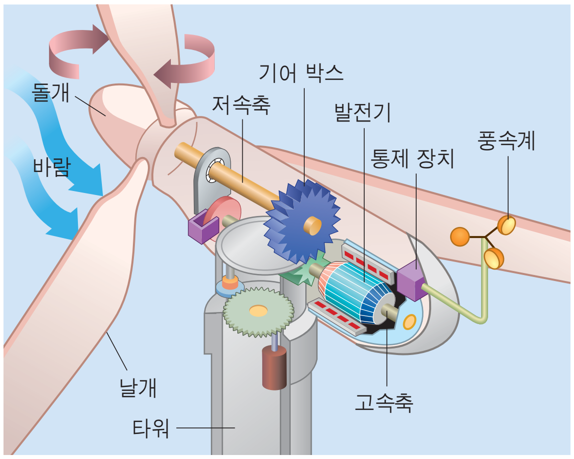
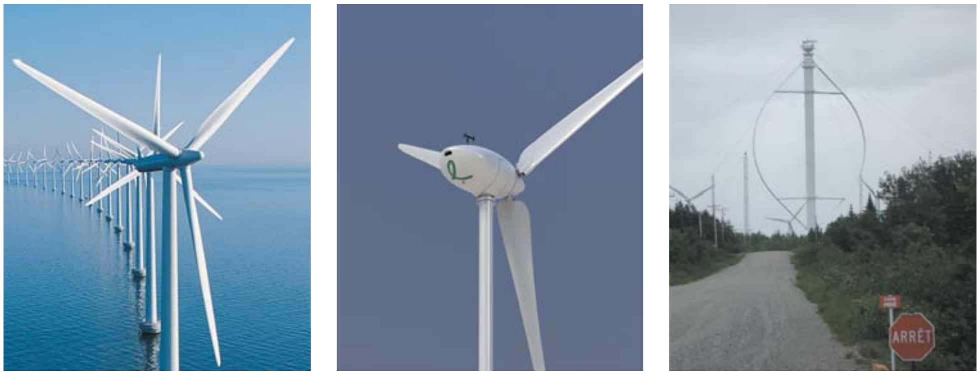


그림 Ⅳ-42 풍력 발전기의 구조



(가) 맞바람 방식의 수평형　　(나) 뒷바람 방식의 수평형　　(다) 수직형

그림 Ⅳ-43 풍력 발전기의 유형

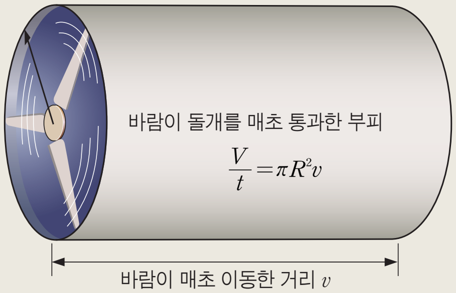
직선으로 부는 바람이 지니고 있는 운동 에너지가 돌개를 돌리는 회전 운동 에너지로 변환될 수 있는 효율은 돌개의 크기, 날개의 형상과 개수, 바람의 속력 등에 따라 달라지며, 이론상 최대 효율은 59%라고 한다.

풍력 발전기는 그림 Ⅳ-43과 같이 돌개 축의 방향에 따라 수평형과 수직형으로 나눌 수 있고, 수평형은 다시 맞바람 방식과 뒷바람 방식으로 나누어진다. 현재 대부분의 풍력 발전기는 맞바람 방식을 많이 사용하고 있다. 뒷바람 방식은 소규모 출력용으로 사용되고, 수직축 방식은 효율이 많이 떨어지기 때문에 거의 사용하고 있지 않다.

한 걸음 **더**

풍력 에너지 계산(바람이 돌개에 전달해 줄 수 있는 일률)

공기 밀도가 ρ인 바람이 속력 v로 돌개의 반지름이 R이 만드는 면적을 통과할 때, 바람이 통과하면서 돌개에 전달해 줄 수 있는 초당 운동 에너지를 계산해 보자.



공기 밀도가 ρ이고 부피가 V인 바람이 속력 v로 움직이면서 반지름이 R인 돌개를 회전시킬 때, 이 바람이 갖고 있는 운동 에너지는

$$E=\frac{1}{2}(\rho V)v^2$$

이다. 반지름이 R인 돌개가 만드는 면적을 바람이 속력 v로 통과할 때 매초 통과하는 부피는

$$\frac{V}{t}=\pi R^2 v$$

가 된다. 이 두 식으로부터 바람이 매초 돌개에 전달해 줄 수 있는 에너지는 다음과 같다.

$$P\equiv\frac{E}{t}=\frac{\pi}{2}\rho R^2 v^3$$

즉, 바람이 갖고 있는 에너지는 바람 속력의 세제곱에 비례한다는 것을 알 수 있으며, 이 값은 초당 통과하는 에너지이기 때문에 일률에 해당한다.

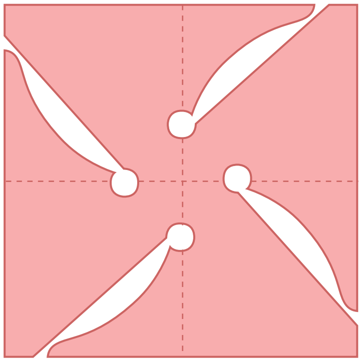
연구 6. 세계적으로 풍력 발전이 크게 주목받는 까닭은 무엇이며, 아파트나 가정에서 소규모로 풍력 발전을 할 때 기술적, 사회적 문제점은 무엇인지 알아보자.

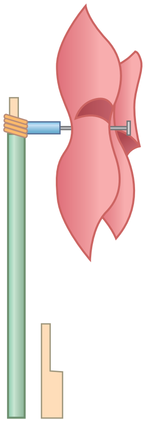
탐구 3 해 보기 **풍력 발전기 만들기**

준비물 꼬마 전동기(꼬마 전동기는 발전기 역할을 한다.), 회로 검사기, 페트병, 두꺼운 비닐 A4 크기, 글루건, 가는 빨대, 건전지, 전선, 나사못과 너트 여러 개, 와셔, 선풍기

과 정
1. 날개의 형상과 반지름을 정하고 날개를 만든다.
2. 돌개가 완성되면 가는 빨대를 회전축으로 하고 글루건으로 견고하게 접착한다.
3. 발전기를 고정할 덮개와 뒷날개 깃을 만들어 접착한다.
4. 발전기 몸체 부분과 돌개를 결합한다. 이때 건전지를 연결하여 꼬마 전동기가 회전할 때 돌개의 회전축이 잘 맞았는지 견고하게 결합되었는지를 확인한다.
5. 발전기 몸체 아래에 나사못이 들어갈 수 있게 뚫고 너트와 결합한 다음 글루건으로 접착한다.
6. 나사못 나머지 부분을 페트병 뚜껑에 구멍을 내고 너트와 와셔를 이용하여 뚜껑과 결합한다. 이때 몸체가 수평으로 자유롭게 회전할 수 있어야 한다.
7. 뚜껑이 달린 발전기 몸체를 페트병과 결합한다. 이때 페트병 안에 물이나 모래를 $\frac{1}{2}$ 정도 채운다.
8. 발전기 전극에 전선을 연결하고 선풍기 바람으로 돌개를 회전시킨다. 이때 전압과 전류를 재어 본다.







정 리 바람의 속력에 따라 전압과 전류가 어떻게 변하는지 알아본다. 이때 전력을 계산해 보자.

조력 발전

해양에서의 발전은 파도의 힘으로 발전하는 파력 발전, 바닷물의 흐름에 의한 조류 발전, 밀물과 썰물의 낙차를 이용하는 조력 발전을 포함한다. 최근에는 이들끼리 결합하거나, 이들과 풍력 및 태양광 발전을 함께 하는 복합 발전의 형태로 추진되고 있다.



그림 Ⅳ- 44 프랑스 랑스 강의 조력 발전소. 조석 간만의 차이가 13.5 m이다.

조력 발전이나 조류 발전은 달, 태양, 지구 사이의 중력에 의한 상호 작용이 만들어 내는 에너지를 이용한 것으로서, 조력 발전에서는 밀물과 썰물의 수위 차를 이용하고 조류 발전에서는 물의 흐름을 이용한다.

조력 발전에서는 바다의 만이나 바다와 연결된 강 하구를 방조제로 막고 밀물이 들어올 때 갑문을 열어 최대 수위가 되었을 때 물을 막아 물을 저장한다. 수위 차가 가장 크게 되면 갑문을 열고 수위 차를 이용하여 발전을 한다. 이때 물의 위치 에너지는 운동 에너지로 바뀌고 이는 다시 발전기에 의해 전기 에너지로 전환된다.

조력 발전은 환경오염 물질이 발생하지 않을 뿐만 아니라 태양광 발전이나 풍력 발전에 비해 발전 단가가 싸며, 발전 규모도 크다. 발전 방식은 저낙차 수력 발전과 유사하나, 수력 발전과는 달리 강수량에 영향을 받지 않고 하루 두 번씩 안정적으로 발전할 수 있다.

그동안 세계 최대 규모의 조력 발전소는 1966년 설치되어 240 MW급 발전을 하고 있는 프랑스 랑스 강 유역에 설치된 조력 발전소였다. 그러나 우리나라의 시화호에 설치된 조력 발전소가 2011년부터 2만 5400 kW 규모의 수차 발전기 10기를 가동하면서 최대 254 MW급의 발전을 하게 되어 세계에서 가장 규모가 큰 조력 발전소가 되었다.



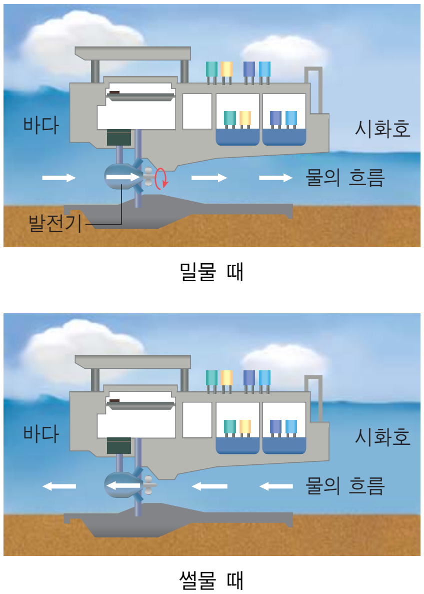
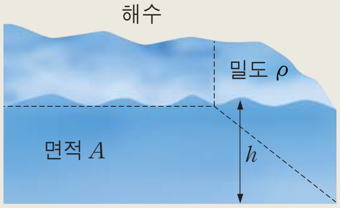


그림 Ⅳ- 45 시화호 조력 발전소

한걸음 더

조력 에너지의 계산

면적 A, 높이 h, 밀도 ρ인 방조제 안에 들어 있는 물의 질량은 $m=\rho Ah$이다. 이 물의 위치 에너지는 수면을 기준으로 할 때 $E=mgh=\rho Ah^2g$가 되지만, 가장 낮은 바닥을 기준으로 할 때 0이 된다. 그렇기 때문에 위치 에너지를 계산할 때는 수위의 평균값인 $\frac{h}{2}$를 사용해야 한다.



따라서 조석 간만의 최고 수위 차이가 h이고 방조제가 물을 담을 수 있는 면적이 A, 바닷물의 밀도가 ρ라고 하면, 이 물이 가지는 위치 에너지는

$$E=\frac{1}{2}A\rho h^2g$$

가 된다. 즉, 조력 발전을 할 수 있는 에너지는 최고 수위 h의 제곱에 비례한다.

예제 9

시화호의 평균 조석 간만의 차이는 5.64 m이며 하루에 유통되는 총 해수량은 $1.6\times10^8\ \mathrm{m^3}$이다. 바닷물의 밀도를 $1025\ \mathrm{kg/m^3}$이라 하고 하루 10시간 발전을 한다고 할 때 물의 위치 에너지를 모두 전기 에너지로 전환할 수 있다면 발전 용량은 얼마나 되는가? 이때 중력 가속도는 $10\ \mathrm{m/s^2}$으로 한다.

해설 | 유통되는 바닷물의 총 위치 에너지는

$$E=\frac{1}{2}A\rho h^2g=(Ah\rho)\times\frac{h}{2}g=(1.6\times10^8\ \mathrm{m^3}\times1025\,\mathrm{kg/m^3})\times\frac{5.64\ \mathrm{m}\times10\ \mathrm{m/s^2}}{2}\simeq4.62\times10^{12}\ \mathrm{J}$$

10시간 발전한다고 할 때 물로부터 발전할 수 있는 시간당 에너지는

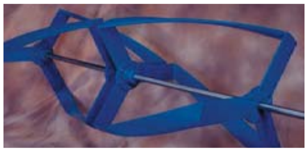
$$P=\frac{E}{t}=\frac{4.62\times10^{12}\ \mathrm{J}}{10\times3600\ \mathrm{s}}=1.28\times10^8\ \mathrm{W}$$이 된다.

답 $1.28\times10^8\ \mathrm{W}$

탐구 4 조사 조력 발전과 조류 발전

과 정

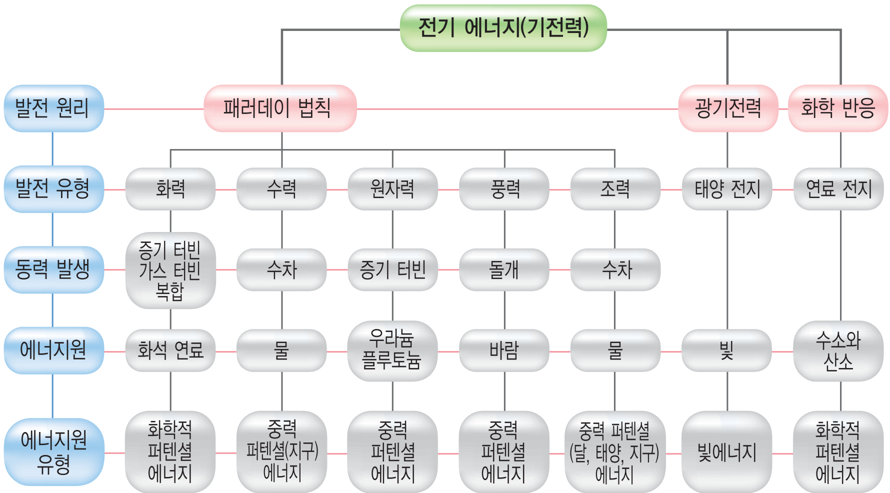
1. 세계적으로 운영되고 있거나 건설되고 있는 조력 발전을 알아보자. 조력 발전을 할 수 있는 곳은 공통적으로 어떤 지역적 특성을 가지고 있는가?
2. 현재 시험 운행 중인 우리나라 진도의 울돌목 조류 발전소는 세계 최초로 실용화된 조류 발전소라고 한다. 오른쪽 그림과 같이 여기에는 수직형 풍력 발전기와 같은 유형의 양방향 수차가 설치되어 있다. 왜 그렇게 설치하게 되었는지 조사해 보자.



에너지의 발생

01 중단원 마무리

한눈에 보기



되짚어 보기

- 기전력은 (+)전하와 (−)전하를 분리하여 전류를 지속적으로 흘려주게 하는 전압이다.
- 패러데이 법칙에 의해 자기력선속이 변하면 기전력이 발생한다.
- 화력 발전에는 증기 터빈 방식, 가스 터빈 방식, 복합 화력 발전 방식이 있다.
- 수력 발전에는 재래식, 양수식, 소수력이 있다.
- 원자력 발전에는 가압 경수로, 가압 중수로, 고속 증식로가 있다.
- 태양 전지는 p-n 접합부가 빛을 받을 때 기전력이 발생하는 광기전력 효과를 이용한 것이다.
- 신 · 재생 에너지는 연료 전지, 수소 에너지, 석탄 액화 · 가스화의 3개 신에너지 분야와 태양광, 태양열, 바이오 에너지, 풍력 에너지, 소수력 에너지, 지열 에너지, 해양 에너지, 폐기물 에너지의 8개 재생 에너지 분야로 구성된다.
- 연료 전지는 산소와 수소의 화학 반응에 의해 전기가 생산되고 부산물로 열과 물이 나온다.
- 조력 발전은 달, 태양, 지구 사이의 중력 상호 작용에 의해 발생된 밀물과 썰물의 낙차를 이용한 것이다.

| 주 요 용 어 |

기전력
자기력선속
전력
핵융합, 핵분열
가압 중수로
가압 경수로
고속 증식로
신 · 재생 에너지
전력 수송
에너지 효율
광기전력
광전 효과
연료 전지
핵에너지
방사선량
방사능량
태양 전지
화력 발전
풍력 발전
조력 발전
수력 발전

확인하기

1 발전기는 주로 자기장과 도선의 단면 사이의 각도를 변화시킴으로써 기전력을 얻는다. 그 까닭은 무엇인가?

2 화력 발전의 경향이 왜 복합 화력 발전 방식으로 가는가?

3 조력이나 원자력은 대규모 발전 방향으로 진행하고 있다. 왜 그런지 생각해 보자.

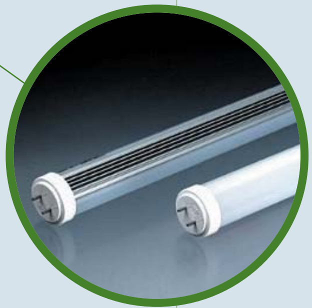
4 조력과 풍력은 발전에 소요되는 비용이 가장 낮다고 한다. 그럼에도 한 국가의 전기 에너지 생산에서 차지하는 비중이 여전히 낮은 것은 무엇 때문인가?

5 신 · 재생 에너지는 항상 환경 친화적이고 비용이 저렴한가? 그렇지 않다면 이를 극복하기 위한 노력에는 어떤 것이 있는지 설명해 보자.

2 힘과 에너지의 이용







에너지는 시공간에서 벌어지는 사건 전후에 보존되는 물리량 중 하나이다. 일어나는 사건에 의해 계의 총 에너지 중 일부, 혹은 전부가 한 형태에서 다른 형태의 에너지로 변하고, 그 과정에서 일을 하거나 받게 된다. 따라서 일을 포함하여 사건 전의 총 에너지는 사건 후의 총 에너지와 같으며, 이를 '에너지 보존 법칙'이라고 한다. 여기에는 아인슈타인의 질량 · 에너지 식이 적용되기 때문에 넓게는 질량을 포함한 에너지 보존 법칙이 되지만, 핵반응이나 상대성 이론이 적용되는 경우를 다룰 필요가 없다면 질량을 제외한 에너지 보존 법칙만을 사용해도 무방하다.

에너지가 일의 형태로 전환될 때 일은 힘의 작용으로 나타낼 수 있다. 따라서 힘에 의해 계의 상태가 변했을 때 여기에는 일이 관여되어 있고, 이것은 에너지가 전환되었다는 것을 의미한다. 이 단원에서는 역학적 회전 운동, 유체 운동, 열기관, 전기 기구에서 에너지가 전환되면서 일을 할 때 나타나는 힘의 전달과 그 효과를 에너지 보존의 관점에서 다루게 된다.

생각 열기

미국 유타 주의 사막에 있는 이중 아치 모양의 바위. 이 바위는 수만 년 동안 외부의 힘과 자신의 무게를 견디며 무너지지 않고, 역학적 평형을 유지해 왔다. 이처럼 역학적 평형을 유지할 수 있었던 까닭은 무엇일까?





1 역학적 평형

학습 목표

1. 돌림힘의 의미를 알고 이를 지레의 원리에 적용할 수 있다.
2. 일의 원리를 이해한다.
3. 역학적 평형의 원리를 이해하고 구조물의 안전성을 설명할 수 있다.

지레는 인류가 등장하면서부터 사용되었던 도구로서 오늘날까지도 유용하게 사용하고 있는 가장 간단한 도구이다. 도르래, 축바퀴, 기어 등은 오늘날 산업 현장에서 사용하는 기계 장치에서 빼놓을 수 없는 가장 기본적인 도구로서, 이들 힘의 크기 변화와 전달에는 지레의 원리가 적용되어 있다.

1. 돌림힘과 지레

지레에 작용하는 힘이 지레를 어떻게 운동하게 만드는지 다음 탐구를 통해 알아보자.

탐구 5 해 보기 **막대기의 회전**

- **준비물** 30 cm 플라스틱 자, 압정
- **과 정**
  1. 자가 자유롭게 회전할 수 있게 자의 한 끝에 구멍을 내고 압핀으로 고정한다.
  2. 회전축으로부터 떨어진 임의의 지점에 여러 방향으로 힘을 작용할 때 힘의 효과를 관찰한다.



- **정 리**
  - 힘이 자에 작용할 때 힘의 방향, 작용하는 위치에 따라 자의 운동이 어떻게 달라지는지 설명해 보자.

그림 Ⅳ-46의 (가)에서 막대 길이 방향에 대해 수직으로 힘이 작용하면 막대는 회전 운동한다. 이렇게 물체가 축을 중심으로 회전 운동할 때, 회전 운동을 발생하게 만드는 원인을 **돌림힘**이라고 한다. 그러나 그림 (나)와 같이 막대 길이 방향으로 작용하는 힘은 회전 운동에 기여하지 않는다. 따라서 그림 (다)와 같이 막대 끝에 비스듬히 힘이 작용할 때는 막대 길이 방향에 수직 성분이 유효하게 회전 운동에 기여한다.

한편, 같은 크기의 힘이 작용할 때, 회전축에서 먼 곳에 작용할수록 돌림힘의 효과는 커진다. 예를 들어 렌치로 너트를 돌린다고 생각해 보자.

같은 힘을 주어 너트를 돌릴 때 팔의 길이가 길수록 너트를 더 쉽게 돌릴 수 있다. 이렇게 돌림힘의 효과는 회전축으로부터의 거리에 비례한다.

이것을 종합하면 돌림힘 τ는 작용하는 힘의 크기 F와 회전축으로부터 작용하는 힘까지의 거리 l에 비례하며, 힘과 막대 사이의 각 θ와 관계한다. 이를 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$\tau = Fl\sin\theta$$

일상생활에서 볼 수 있는 지레, 양팔 저울, 자동차 운전대, 드라이버 등 회전 운동과 관련된 것들은 돌림힘에 의한 작용으로 설명할 수 있다. 이 식에 의하면 같은 크기의 돌림힘 τ에 대해 작용하는 힘 F와 길이 l은 서로 반비례한다. 따라서 회전축으로부터 작용하는 힘까지의 거리 l이 길수록 작은 힘으로도 큰 효과를 낼 수 있다.

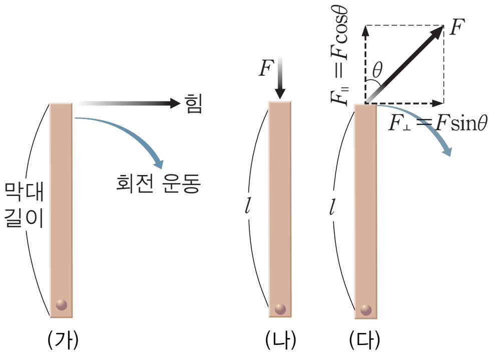


그림 Ⅳ- 46 돌림힘


그림 Ⅳ- 47 돌림힘의 효과

2. 지레의 원리

막대의 두 지점에서 반대 방향으로 다른 크기의 두 힘이 작용한다면 막대는 돌림힘이 큰 쪽으로 회전하게 될 것이다. 그러나 만일 그림 Ⅳ-48과 같이 서로 반대 방향으로 회전하려는 돌림힘의 크기가 같다면 막대는 회전하지 않을 것이다. 따라서 두 돌림힘이 작용할 때 회전하지 않을 조건은 다음과 같다.

$$\tau_{\text{반시계}} + \tau_{\text{시계}} = 0$$

$$F_1 l_1 \sin\theta_1 + F_2 l_2 \sin\theta_2 = 0$$

이때 θ_1과 θ_2는 서로 반대 방향이다.

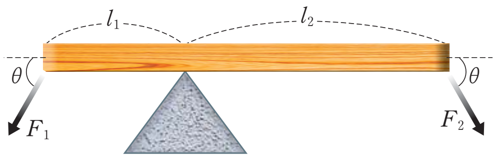
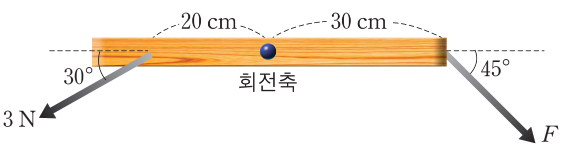


그림 Ⅳ- 48 지레의 원리

예제 10

오른쪽 그림과 같이 회전축에서 20 cm 떨어진 곳에는 3 N의 힘이 반시계 방향으로 30°의 각도로 작용하고, 30 cm 떨어진 곳에서는 시계 방향으로 45°의 각도로 힘 F가 작용하고 있다. 이 막대가 회전하지 않기 위한 힘 F의 크기는 얼마인가?



해설 | 돌림힘의 평형 조건에 의해 $3\text{ N} \times 0.2\text{ m} \times \sin 30° = F \times 0.3\text{ m} \times \sin 45°$이다. 따라서 $F = \sqrt{2}\text{ N}$이다.

답 $\sqrt{2}\text{ N}$

지레나 양팔 저울에서 힘이 막대에 대해 수직으로 작용한다면 $\sin\theta=1$이므로 다음과 같이 간단하게 쓸 수 있다.

$$F_1l_1=F_2l_2$$

이것을 **지레의 원리**라고 한다. 일반적으로 여러 힘들이 여러 곳에서 각기 다른 방향으로 막대에 작용할 때, 돌림힘의 평형에 의해 회전하지 않을 조건은 다음과 같다.

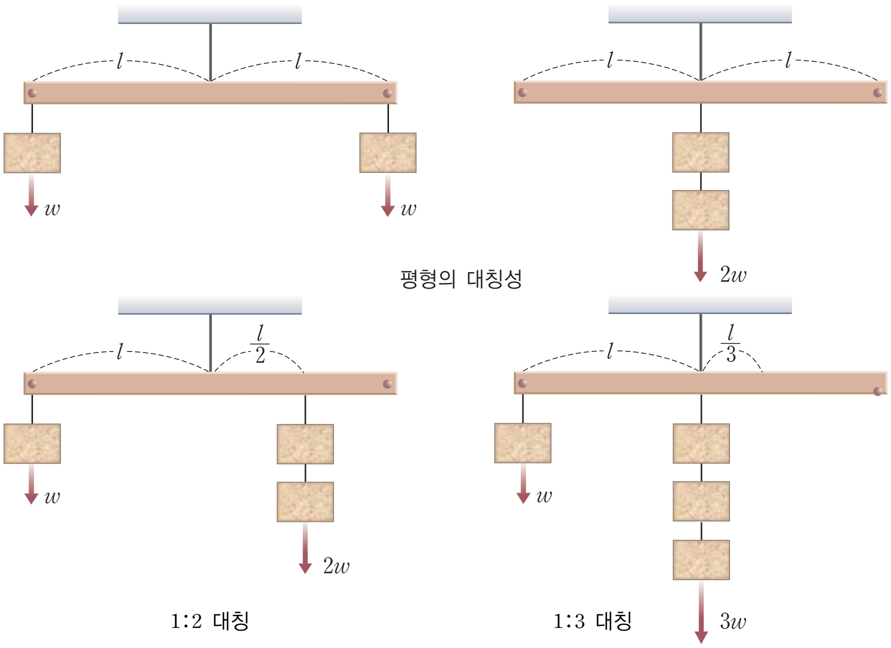
$$\tau_1+\tau_2+\tau_3+\cdots=F_1l_1\sin\theta_1+F_2l_2\sin\theta_2+F_3l_3\sin\theta_3+\cdots=0$$

이것을 **돌림힘의 평형 조건**이라고 한다. 여러 돌림힘이 평형을 이루면 정지한 물체는 회전하지 않는다. 지레의 원리에 대한 가장 오래된 기록은 기원전 3세기경에 쓰인 아르키메데스의 "평면의 평형에 관하여"에서 볼 수 있다. 아르키메데스는 양팔 저울을 이용하여 돌림힘의 평형 조건을 사고 실험에 의해 증명하였다.

이제 아르키메데스가 했던 방법으로 돌림힘의 평형 조건에 대해 알아보자.

탐구 6 | 창의 활동 **아르키메데스의 사고 실험**

자 료 다음 그림과 같이 같은 무게가 같은 거리에 있을 때의 평형은 중심에 모든 무게가 모여 있을 때와 동등하다. 즉 두 경우 모두 중심에 대해 저울의 좌우는 대칭이다.



과 정 1. 평형의 대칭성을 이용하여 저울의 왼쪽에는 한 개의 추가 있고, 오른쪽에는 두 개의 추가 있을 때 평형 조건을 구해 보자.

2. 같은 방법으로 왼쪽에는 추가 한 개 있고, 오른쪽에는 세 개 있을 때의 평형 조건을 구해 보자.

3. 만일 왼쪽 추의 질량이 31 g, 오른쪽의 추가 83 g일 때 평형 조건을 구해 보자.

4. 평형 조건을 구하기 위해서는 추를 어떻게 배열해야 하는가? 이제까지의 논리 활동을 통해 얻은 결과를 바탕으로 설명해 보자.

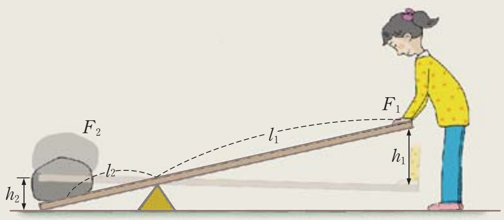
아르키메데스는 추에 의한 돌림힘의 평형이라는 상황을 좌우의 기하학적 대칭 상황으로 대체함으로써 평형 조건을 알아냈다.

지레를 사용하면 작은 힘으로 큰 힘을 낼 수 있지만 대신 많은 거리를 이동해야 한다. 지레로 물체를 든다고 했을 때, 힘에서 이익을 얻었지만 거리에서는 손해를 보게 된다. 이처럼 작은 힘으로 무거운 물체를 들어 올리기 위해서는 많은 거리를 이동하여야 하기 때문에 해주어야 하는 일은 물체를 그냥 들 때의 일과 같게 된다. 이것을 일의 원리라고 한다.

사고 실험
측정이나 관찰을 실제 하지 않고 논리적으로만 이루어지는 실험을 사고 실험(thought experiment)이라고 한다. 갈릴레이의 물체의 낙하에 관한 사고 실험이 그 대표적인 예이다.

한걸음 **더**

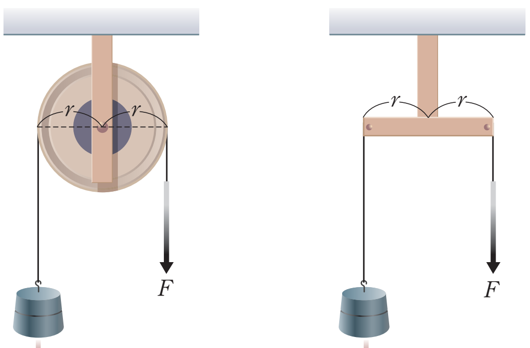
일의 원리의 증명



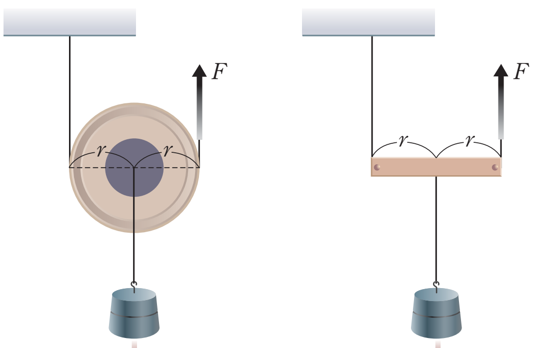
오른쪽 그림과 같이 무게가 F_2인 물체를 들기 위해 작용해야 하는 힘은 $F_1 = F_2 \times \frac{l_2}{l_1}$이지만, 물체를 h_2 만큼 들어 올리기 위해서는 힘 F_1으로 h_1만큼 내려 주어야 한다. 두 삼각형은 각도가 서로 같은 닮은꼴이기 때문에 $h_1 : h_2 = l_1 : l_2$이다. 일의 정의로부터 물체가 얻은 일은 $W_2 = F_2 \times h_2$이지만, 이를 위해 사람이 해주어야 하는 일은 $W_1 = F_1 \times h_1 = \left(F_2 \times \frac{l_2}{l_1}\right) \times \left(h_2 \times \frac{l_1}{l_2}\right) = F_2 \times h_2$가 된다. 일의 원리는 힘이 적게 들어도 해주어야 하는 일은 달라지지 않는다는 사실을 뜻한다. 물체의 무게와 사람이 작용한 힘의 크기가 다르지만, 물체가 받는 일과 사람이 한 일은 같기 때문에 이것은 역학적 에너지 보존 법칙에 해당한다.

3. 지레의 원리 응용

지레의 원리가 적용된 예로 도르래를 들 수 있다. 즉, 도르래는 팔의 길이가 정해진 지레로 바꾸어 생각할 수 있다.



(가) 고정 도르래



(나) 움직 도르래

그림 Ⅳ-49 고정 도르래와 움직 도르래



그림 Ⅳ-50 자동차 운전대

고정 도르래는 들려고 하는 물체의 무게와 같은 힘으로 당겨야 한다. 반면 움직 도르래는 물체가 도르래 중심에 있기 때문에 절반의 힘으로도 물체를 들어 올릴 수 있다.

일반적으로 기계 장치에서는 고정 도르래와 움직 도르래를 조합하여 사용하며, 대형 기중기나 타워크레인에서 보듯이 움직 도르래를 여러 개 사용하여 훨씬 작은 힘으로도 무거운 물체를 들어 올릴 수 있게 한다.

축바퀴에서도 지레의 원리를 찾을 수 있다. 축바퀴는 한 회전축에 반지름이 서로 다른 두 개의 원판을 결합한 것이다. 그림 Ⅳ-50과 같이 축바퀴가 적용된 자동차 운전대, 드라이버, 문손잡이 등은 작은 힘으로도 큰 힘을 낼 수 있다. 만일 드라이버가 없이 나사를 조이거나, 손잡이가 없이 손잡이의 축만으로 문을 열거나, 핸들의 축만으로 자동차의 바퀴를 움직여야 한다면 매우 난처한 일이 될 것이다.

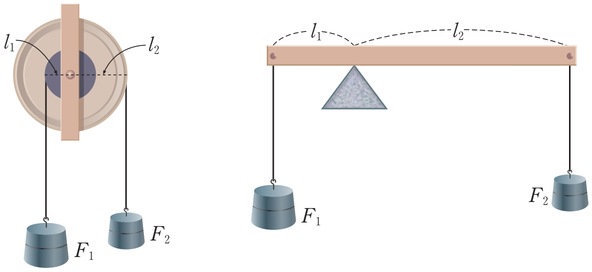


그림 Ⅳ-51 축바퀴와 지레

그림 Ⅳ-51과 같이 지레의 원리를 적용하면 축바퀴에 작용하는 힘은 다음과 같이 반지름의 비로 결정된다.

$$F_1 l_1 + F_2 l_2 = 0$$

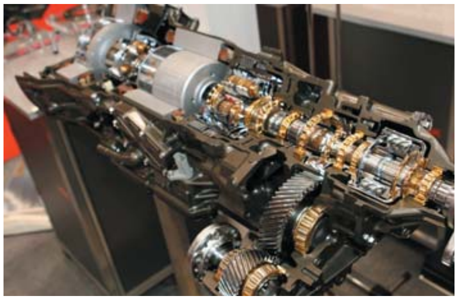
기어를 이용한 변속 장치나 벨트 장치도 축바퀴를 응용한 것으로서 회전 반지름을 변경하여 전달되는 힘의 크기와 회전 속력을 조절할 수 있다. 그림 Ⅳ-55는 축바퀴의 원리가 적용된 다양한 장치를 나타낸 것이다.



(가) 벨트와 축바퀴로 힘의 전달 장치



(나) 자전거의 변속 장치



(다) 자동차 자동 변속 장치



(라) 헬기 변속 장치

그림 Ⅳ-52 축바퀴의 원리가 적용된 장치

탐구 7 해 보기 **힘겨루기**



과 정

1. 한 사람은 야구 방망이의 굵은 쪽을 손으로 쥐고 다른 사람은 가는 쪽을 쥔다.
2. 두 사람이 동시에 서로 반대 방향으로 야구 방망이를 돌린다.
3. 여러 학생들이 이긴 사람에게 계속 도전하여 힘겨루기를 한다.

정 리

1. 어느 쪽을 쥔 사람이 내기에서 이기는지 축바퀴의 원리로 설명해 보자.
2. 야구 방망이에 작용하는 힘을 지레에 작용하는 힘으로 설명해 보자.

4. 역학적 평형

그림 Ⅳ-53은 영국 요크셔 지방에 있는 바위이다. 뾰족한 바위 위에 올라앉은 불안정한 모습에도 불구하고 수만 년 동안 외부로부터의 힘과 돌림힘에 대해 역학적 평형을 유지해 왔다. 이와 같은 역학적 평형에 대해 알아보자.

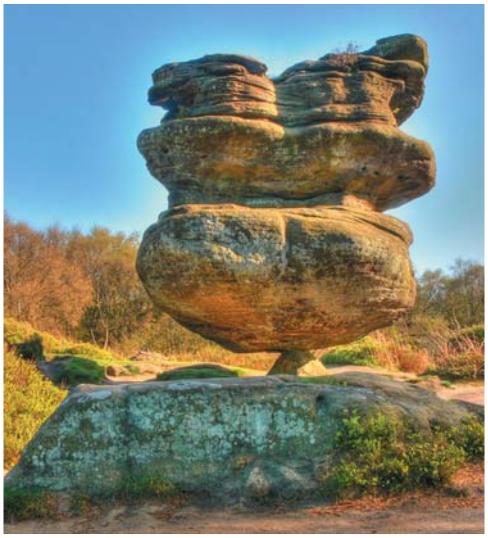


그림 Ⅳ-53 영국 요크셔 지방의 브리멈 바위

정지 상태에서 물체의 질량 중심에 힘이 작용하면 그 물체는 직선 운동을 한다.

그러나 알짜힘이 0이어서 직선 운동을 하지 않아도 돌림힘의 합이 0이 아니면 물체는 회전 운동을 한다.

그림 Ⅳ-54는 물체에 작용하는 두 손의 힘이 서로 반대 방향으로 작용하기 때문에 이를 합하면 0이지만, 회전축에 대한 돌림힘의 합은 0이 아닌 예를 보여주고 있다. 이때 이 물체는 직선 운동을 하지 않고 회전 운동만 하게 된다.

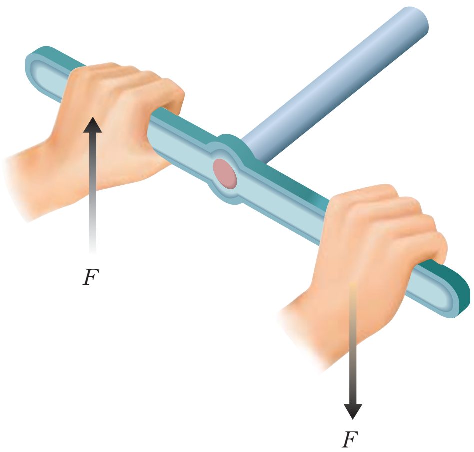


그림 Ⅳ-54 돌림힘이 0이 아닐 때

만일 정지 상태의 물체에 힘이나 돌림힘이 작용하고 있음에도 불구하고 알짜힘과 돌림힘의 합이 모두 0이라면 이 물체는 어떤 운동도 하지 않는 상태에 있게 된다.

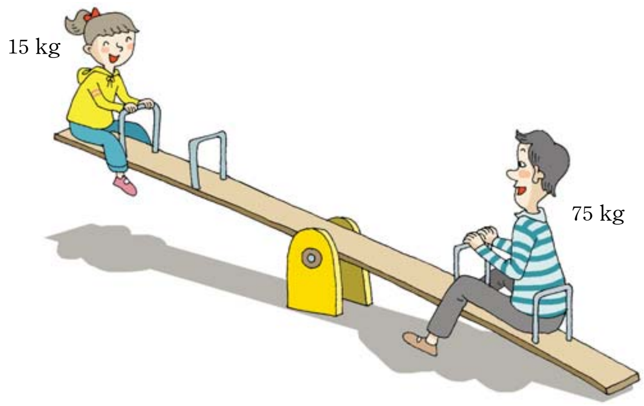
이때 물체는 역학적 평형 상태에 놓여 있다고 한다. 따라서 한 물체가 역학적 평형 상태가 되기 위해서는 다음과 같은 조건이 동시에 만족되어야 한다.

$$F_1+F_2+F_3+\cdots=0$$

$$\tau_1+\tau_1+\tau_3+\cdots=F_1 l_1 \sin\theta_1+F_2 l_2 \sin\theta_2+F_3 l_3 \sin\theta_3+\cdots=0$$

예제 11

질량이 15 kg인 아이가 전체 길이 4 m인 시소의 왼쪽 끝에 앉아 질량이 75 kg인 아빠와 시소 놀이를 하고 있다. 단, 중력 가속도는 $10\ m/s^2$으로 한다.



(1) 아이가 아빠와 회전 평형을 이루려고 한다. 시소에 작용하는 알짜 돌림힘으로부터 아빠의 위치를 계산하라.

(2) 시소의 널판지 질량은 12 kg이다. 시소의 회전축에 작용하는 수직 항력은 얼마인가?

해설 | (1) 회전 평형 조건은 $F_1 l_1 \sin\theta_1 + F_2 l_2 \sin\theta_2 = 0$이다. 둘 모두 시소에 대해 수직으로 힘이 작용하기 때문에 $\sin\theta = 1$이 된다. 따라서 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$F_{\text{아이}} l_{\text{아이}} + F_{\text{아빠}} l_{\text{아빠}} = 300 + 750x = 0$$

따라서 아빠는 중심으로부터 오른쪽으로 0.4 m인 곳에 앉아 있어야 회전 평형을 이룬다.

(2) 아빠와 아이, 시소의 널빤지는 지구 중력에 의해 아랫방향으로 힘을 받고 있으나, 시소의 중심축에서 위로 받쳐주는 수직 항력이 작용하기 때문에 아이와 아빠, 널빤지는 낙하하지 않고 평형을 이루고 있다.

$$F_{\text{아이}} + F_{\text{아빠}} + F_{\text{널판지}} + F_{\text{수직 항력}} = 150\ \text{N} + 750\ \text{N} + 120\ \text{N} + F_{\text{수직 항력}} = 0$$

따라서 수직 항력은 윗방향으로 1020 N이 작용한다.

답 (1) 오른쪽으로 40 cm (2) 1020 N



그림 Ⅳ-55 지진 피해 건물

역학적 평형은 우리 생활에서 매우 중요하다. 특히 건축물은 수직으로 작용하는 자신의 무게를 견뎌야 할뿐 아니라 바람이나 지진과 같이 옆으로 받는 힘에 대해서도 견딜 수 있는 역학적 평형 상태를 유지해야 한다.

건축에서는 제일 먼저 직선으로 된 자재를 결합하여 기본 뼈대 구조물을 만든다. 이때 뼈대 구조물은 자신의 무게나 외부로부터 발생되는 힘과 돌림힘을 견딜 수 있어야 한다.

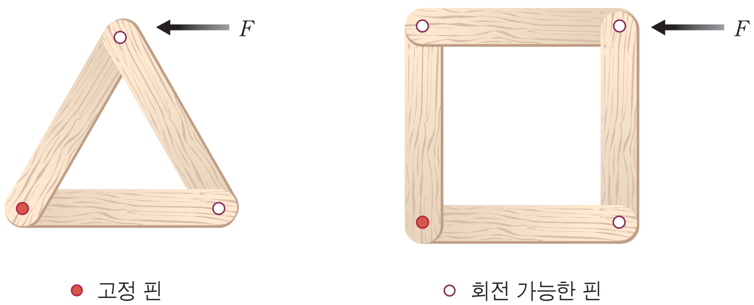
다음 탐구를 통해 이에 대해 알아보자.

탐구 8 해 보기 간단한 뼈대 구조물 만들어 보기

준비물 길이 10 cm, 폭 1 cm, 두께 2 mm 정도의 나무 막대 10개, 압핀 10개

과 정

1. 다음 그림과 같이 나무 막대로 삼각형과 사각형 모양의 구조물을 만들고 각 꼭지점을 압핀으로 결합한다.
2. 삼각형 구조물과 사각형 구조물에 수직과 수평으로 힘을 가했을 때 어떻게 변형되는지 알아본다.



정 리

1. 외부의 힘을 받을 때 어떤 모양의 구조물이 더 강한지 설명해 보자.
2. 구조물의 변형을 돌림힘으로 설명해 보자.

삼각형 모양의 뼈대 구조물은 수직으로 받는 힘과 수평으로 받는 힘을 잘 견딘다. 따라서 건축할 때는 뼈대 구조물을 삼각형 형태로 결합하여 사용한다.



그림 Ⅳ-56 삼각형 구조물로 만든 다리



(가) 불국사의 청운교와 백운교를 연결하는 홍예



(나) 석굴암 천장의 돔 구조

그림 Ⅳ-57 아치와 돔

역학적 평형을 유지할 수 있는 또다른 구조물로 그림 Ⅳ-57의 (가)와 같은 아치가 있다. 아치는 견고함과 아름다움을 갖춘 건축 구조물로 많이 이용된다. 우리나라에서는 이 구조물이 무지개 모양과 같다고 하여 홍예라고 부른다.

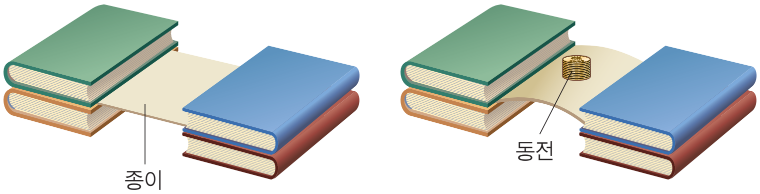
다음 탐구를 통해 이를 자세히 알아보자.

탐구 9 해 보기 간단한 아치 구조물 만들어 보기

준비물 A4 종이, 100원짜리 동전, 같은 크기와 무게의 책 4권

과 정

1. 다음 그림과 같이 종이를 평평하게 놓고 그 위에 동전을 올려놓았을 때 종이가 동전의 무게를 견딜 수 있는지 관찰한다.
2. 종이를 아치 모양으로 둥글게 하고 그 위에 동전을 하나씩 올려놓았을 때 종이가 동전의 무게를 견딜 수 있는지 관찰한다.



정 리

1. 동전이 평평하게 놓은 종이 위와 아치 모양의 종이 위에 작용하는 힘을 설명해 보자.
2. 아치 모양이 동전의 무게를 견딜 수 있는 까닭을 설명해 보자.

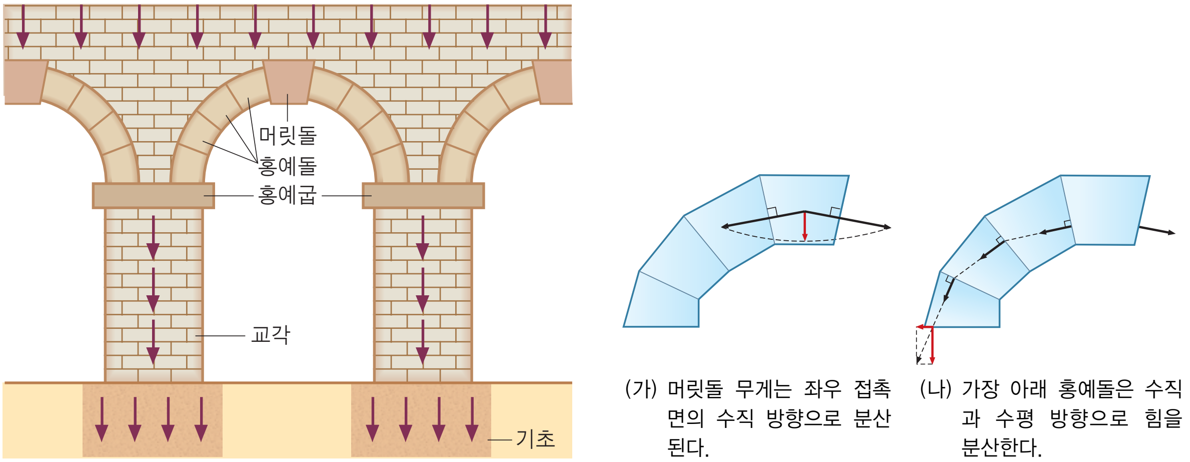


그림 Ⅳ-58 아치에의한 힘의 분산

그림 Ⅳ-58과 같이 아치는 수직 아래로 향하는 힘을 좌우로 분산시켜 최종적으로는 모든 힘을 지면에 수직인 방향과 수평인 방향으로 나눈다. 지면에 수직으로 작용하는 힘은 지면에 의한 수직 항력에 의해 상쇄되고, 수평으로 작용하는 힘은 지면과의 마찰력에 의해 상쇄된다. 아치 모양을 3차원 공간으로 확대한 구조물이 그림 Ⅳ-57의 (나)와 같은 돔이다.

과학과 **생활**

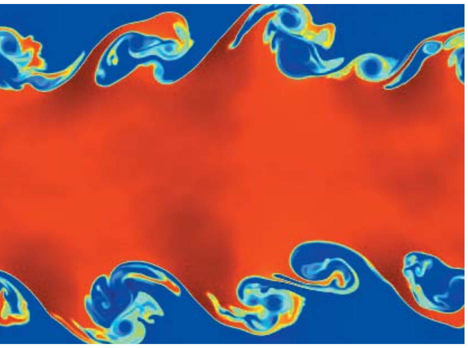
스파게티로 만든 다리

스파게티와 접착제만을 이용하여 견고한 다리를 만드는 국제 대회가 매년 캐나다의 오카나간(Okanagan) 대학에서 열린다. 1 kg 이내의 스파게티로 다리를 만들고 다리가 무너질 때까지 추를 매달아 가장 큰 힘을 견디는 다리를 만든 팀이 우승한다.

2010년도에 헝가리의 학생들이 994.9 g의 스파게티로 352.62 kg을 견디는 다리를 만들어 세계 신기록을 세웠다. 그들이 만든 다리는 삼각형과 아치를 결합한 구조를 지녔다.

국내에는 강원대학교 공학 교육 센터에서 누들브리지 경연 대회가 열린다.





2 유체에서의 압력

학습 목표

1. 유체 속에서 물체가 받는 압력과 부력을 정량적으로 이해한다.
2. 파스칼 법칙을 이해하고 응용할 수 있다.
3. 베르누이 법칙을 알고 실생활에서 적용된 사례를 설명할 수 있다.
4. 공이 회전하면서 날아갈 때 마그누스 힘을 받아 공의 방향이 변한다는 것을 안다.

흐를 수 있는 물질을 유체라고 하며 여기에는 액체와 기체가 포함된다.

일정한 모양을 가지지 않는 유체의 특성을 서술할 때는 고체를 서술할 때 사용하는 질량과 힘이라는 개념보다 밀도와 압력이라는 개념을 사용하는 것이 더 쓸모 있다.

1. 밀도

밀도는 단위 부피당 질량을 의미한다. 즉 물질의 밀도를 ρ, 질량을 M, 부피를 V라고 할 때

$$\rho = \frac{M}{V}$$

으로 정의되며, 국제 단위계로 나타내면 kg/m^3의 단위를 갖는다.

표 Ⅳ-7과 같이 고체나 액체의 밀도는 기체에 비해 대략 1000배나 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 기체에서 분자 사이의 거리가 고체나 액체를 이루는 분자 사이의 거리보다 10배나 더 크다는 것을 의미한다.

밀도

일상생활에서는 물의 밀도를 1이라고 흔히 말하지만 이때의 단위는 g/cm^3 이다. 물의 밀도를 국제 단위계(SI)로 나타내면 $10^3\ kg/m^3$이다. 즉

$$1\ g/cm^3 = \frac{10^{-3}\ kg}{(10^{-2}\ m)^3} = 10^3\ kg/m^3$$

이다. 이것은 $1\ cm^3$의 부피 안에 들어 있는 물의 질량이 $1\ g$이지만, 이 물을 $1\ m^3$의 부피 안에 담으면 있는 그 질량이 1000 kg라는 뜻과 같다.

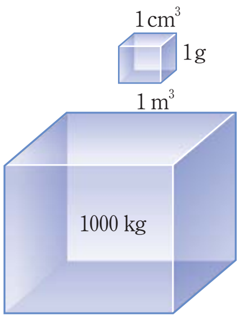


표 Ⅳ-7 주요 물질의 밀도

고체 ($\times 10^3\ kg/m^3$)		액체 ($\times 10^3\ kg/m^3$)		기체(1기압) (kg/m^3)	
얼음	0.92	물(0℃)	0.9998	건조한 공기(0℃)	1.29
철	7.9	물(4℃)	1.000	건조한 공기(30℃)	1.16
금	19.3	바닷물	1.025	수소(0℃)	0.090

예제 12

표 Ⅳ-7로부터 $7\ m \times 10\ m \times 2.5\ m$인 교실 안에 있는 0 ℃ 공기의 질량은 얼마인가?

해설 | 0℃ 공기 $1.00\ m^3$의 질량은 1.29 kg이다. 교실의 부피는 $175\ m^3$이므로 교실 안에 공기의 질량은 무려 226 kg이나 된다. 교실 안의 우리는 왜 아무런 느낌을 받지 않고 살 수 있을까?

답 226 kg

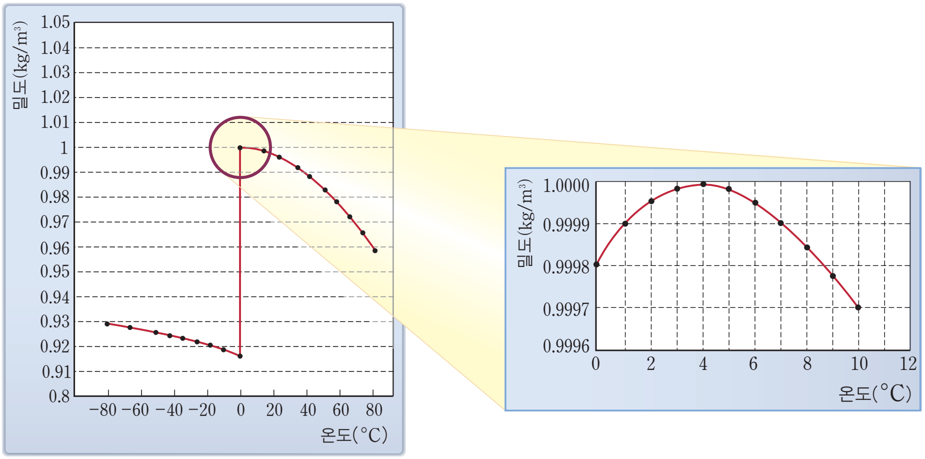


그림 Ⅳ-59 온도에 따른 밀도의 변화

밀도는 온도에 따라 변한다. 그 예로 물은 4℃에서 가장 큰 밀도값을 가지다가 온도가 높아지면서 점차 감소한다. 4℃ 아래에서도 0℃가 될 때까지 점차 감소하다가 0℃ 얼음이 되었을 때 밀도가 급격히 줄어들어 0.92×10^3 kg/m³까지 감소하고, 온도가 낮아짐에 따라 밀도가 서서히 증가한다. 그 까닭은 온도가 낮아지면서 얼음이 수축하기 때문이다.

일상생활에서는 밀도 대신 비중이라는 용어를 많이 사용한다. 비중은 어떤 물질의 밀도와 4℃ 물의 밀도의 비로 다음과 같이 정의된다. 이때 단위는 없다.

$$\text{비중}=\frac{\text{물질의 밀도}}{4℃\ \text{물의 밀도}}$$

창의력 1. 액체 상태에서 물의 밀도는 4℃에서 최댓값을 갖는다. 만일 0℃에서 최댓값을 갖는다면 일상생활에서 어떤 일이 생기겠는가?

물음 4. −7℃에서 얼음의 밀도는 0.92×10^3 kg/m³이다.

(1) −7℃ 얼음 1 kg의 부피는 얼마인가?

(2) 이 얼음이 모두 녹아 4℃ 물이 되었을 때 부피는 얼마인가?

2. 압력

유체는 외부로부터 힘을 받을 때 연속적으로 변형되는 특징을 지니고 있기 때문에 고체처럼 한 점에 힘을 주었을 때 나타나는 현상을 볼 수 없다. 대신 유체에서는 압축에 의해 힘이 전달되기 때문에 유체의 특성을 서술할 때는 압력이라는 개념을 사용한다.

압력은 단면에 수직으로 작용하고 있는 힘과 그 힘을 받는 면적의 비로 나타낸다. 즉 압력을 P, 수직으로 작용하는 힘을 F, 힘을 받고 있는 면적을 A라고 할 때

$$P=\frac{F}{A}$$

이며, 단위로는 Pa(파스칼)을 사용한다. 이는 N/m²와 같다.

탐구 10 해 보기 **종이컵 위에 올라서기**

- **준비물** 종이컵 9개

- **과 정**
1. 종이컵 9개를 놓고 그 위에 얇고 견고한 판자를 올려놓고 조심스럽게 판자 위에 올라선다.
2. 종이컵에 아무 이상이 없으면 내려와서 종이컵을 하나씩 제거하면서 판자 위에 올라서는 것을 반복한다.
3. 자신의 몸무게를 지탱하는데 최소한 몇 개의 종이컵이 필요한지 알아본다.



- **정 리**
1. 컵 하나가 얼마의 무게를 견디는지 계산해 보자.
2. 종이컵이 찌그러지지 않은 까닭을 압력의 개념과 연관하여 설명해 보자.

파스칼(Pascal, B.; 1623~1662)
프랑스의 수학자·물리학자. "유체의 평형" 등 많은 수학·물리학에 대한 글들을 발표하고 연구를 하였다.

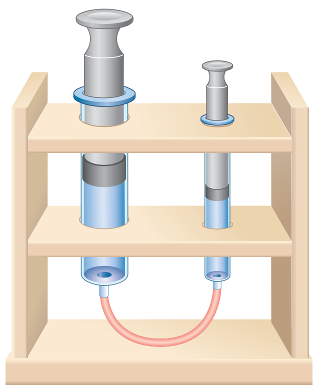
3. 파스칼 법칙

프랑스의 과학자였던 파스칼은 유체 표면에서 압력이 가해질 때 유체의 모든 지점에 같은 크기의 압력이 전달된다는 것을 발견하였다. 이것을 **파스칼 법칙**이라고 한다. 파스칼 법칙을 이해하기 위해 주사기를 이용한 다음 탐구를 통해 알아보자.

탐구 11 해 보기 **유압 장치 만들기**

- **준비물** 10 mL 주사기, 50 mL 주사기, 주사기를 꽂을 수 있는 비닐관 20 cm, 수조, 스탠드

- **과 정**
1. 두 주사기의 실린더 지름을 측정하여 실린더의 단면적을 계산한다.
2. 주사기의 바늘을 꽂을 수 있는 부분에 비닐관을 빠지지 않도록 단단히 끼워 두 주사기를 서로 연결한다.
3. 비닐관이 연결된 두 주사기를 물이 담긴 수조에 넣고 주사기와 비닐관에서 공기를 제거한 다음, 양쪽에 주사기 피스톤을 끼운다.
4. 주사기를 스탠드에 설치하고 같은 두 주사기의 피스톤을 동시에 같은 힘으로 살짝 눌러 본다.
5. 두 주사기의 피스톤이 움직인 거리를 서로 비교해 본다.



- **정 리**
1. 두 피스톤에 힘을 주었을 때, 어느 주사기에 더 큰 힘이 작용하는지 설명해 보자.
2. 두 주사기의 피스톤이 움직인 거리의 비와 두 주사기 실린더의 단면적 비 사이의 관계를 이동한 물의 부피로 설명해 보자.

한쪽 주사기에 작용한 힘은 압력의 형태로 다른 주사기에 작용하여 피스톤을 밀어 올리며, 이때 단면적의 비에 따라 힘의 크기가 달라진다. 이 과정을 좀 더 자세히 알아보자.

그림 Ⅳ-60과 같이 단면적이 각각 A_1과 A_2인 실린더 1, 2가 서로 관으로 연결되어 있고, 관은 액체로 채워져 있으며 두 실린더에는 움직일 수 있는 피스톤이 설치되어 있다.

실린더 1의 피스톤에 힘 F_1을 작용한다면 실린더 1의 피스톤이 유체에 작용하는 압력은 $P=\frac{F_1}{A_1}$이 된다.

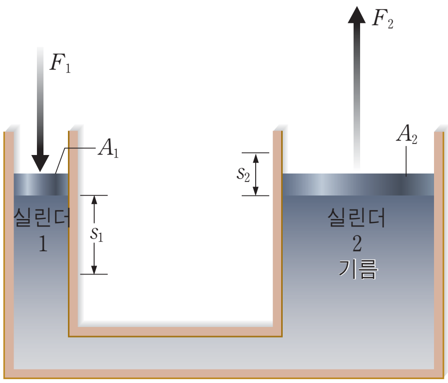


그림 Ⅳ-60 단면적에 따라 다른 힘

파스칼 법칙에 따라 압력은 유체 내의 어디나 같기 때문에 실린더 2의 피스톤에도 같은 압력이 작용한다.

따라서 압력 $P=\frac{F_1}{A_1}$가 피스톤 2의 단면적 모든 부분에 작용하기 때문에 $\frac{F_2}{A_2}=\frac{F_1}{A_1}$으로부터 피스톤 2가 주는 힘은 $F_2=\frac{A_2}{A_1}F_1$이 된다.

즉, 실린더 1에 작용한 힘 F_1은 실린더 2에서는 힘 $F_2=\frac{A_2}{A_1}F_1$로 나타난다. 이때 실린더 2의 단면적 A_2가 실린더 1의 단면적 A_1보다 더 크면 더 큰 힘을 얻게 된다.

일의 원리

지레의 경우와 같이 유압 장치를 이용하여 작은 힘으로 큰 힘을 낼 수 있지만 여기에도 일의 원리가 성립된다.

피스톤 1이 s_1만큼 이동했을 때 이동한 총 부피는 $V=s_1A_1$이 된다. 액체는 비압축적이기 때문에 실린더 1에서 이동한 액체의 부피는 그대로 실린더 2에 전달된다. 따라서 $V=s_1A_1=s_2A_2$가 성립하고, 이로부터 피스톤 2에서 이동한 거리는 $s_2=\frac{A_1}{A_2}s_1$이 된다.

일은 $W=Fs$이므로 실린더 1이 해 준 일은 $W_1=F_1s_1$, 실린더 2가 받은 일은

$$W_2=F_2s_2=\left(\frac{A_2}{A_1}F_1\right)\left(\frac{A_1}{A_2}s_1\right)=W_1$$

이 되어 일의 크기에는 변함이 없다.

예제 13

그림 Ⅳ-66과 같은 유압 장치 실린더의 피스톤 단면적이 각각 $A_1=1\ \mathrm{m^2}$, $A_2=3\ \mathrm{m^2}$이다. 실린더 1의 피스톤에 힘 $F_1=10\ \mathrm{N}$을 주었다.

(1) 실린더 2의 피스톤에 작용하는 힘 F_2는 얼마인가?

(2) 실린더 1의 피스톤을 $1\ \mathrm{m}$ 움직이면 실린더 2의 피스톤은 얼마나 이동하는가?

해설 | (1) $F_2=\frac{A_2}{A_1}F_1$으로부터 $F_2=\frac{3\ \mathrm{m^2}}{1\ \mathrm{m^2}}\times10\ \mathrm{N}=30\ \mathrm{N}$

(2) 이동한 유체의 부피가 보존되어야 하기 때문에 $s_2=\frac{A_1}{A_2}s_1$으로부터

$$s_2=\frac{1\ \mathrm{m^2}}{3\ \mathrm{m^2}}\times1\ \mathrm{m}=\frac{1}{3}\ \mathrm{m}$$

답 (1) $30\ \mathrm{N}$ (2) $\frac{1}{3}\ \mathrm{m}$

파스칼 법칙을 이용하여 일상생활에서 많이 사용하고 있는 것 중의 하나가 유압 장치이다.

유압 장치를 이용하면 작은 힘으로도 큰 힘을 낼 수 있기 때문에 그림 Ⅳ-61과 같이 대형 굴삭기의 삽날을 움직이게 하거나, 자동차의 브레이크를 작동하고 운전대로 바퀴의 방향을 바꾸는 데 이 원리가 적용되고 있다.


그림 Ⅳ-61 굴삭기

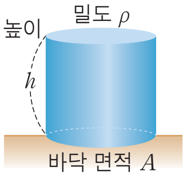


그림 Ⅳ-62 수압

압력 $P=\frac{무게}{면적}$이다.
부피 $V=Ah$로부터
무게 $W=\rho Ahg$이므로
$P=\frac{\rho Ahg}{A}$이다.

4. 수압

파스칼 법칙에 의해 외부에서 유체에 압력이 작용하면 유체 모든 곳에 같은 크기의 압력이 작용할 뿐만 아니라, 유체는 그 자체의 무게 때문에 유체 내에는 깊이에 따른 압력도 같이 작용한다.

예를 들어 그림 Ⅳ-62와 같이 물통에 밀도가 ρ인 액체가 h만큼의 깊이로 담겨 있다고 하자.

물통 바닥의 단면적이 A라 하고, 중력 가속도를 g라고 한다면, 액체의 무게 때문에 물통 바닥이 받는 압력 P는 다음과 같다.

$$P=\rho gh$$

즉, 밀도가 ρ인 유체는 중력에 의해 깊이 h인 지점에서 ρgh의 압력을 받는다.

예제 14

바닷물의 밀도는 1.025×10^3 kg/m^{3}이다. 동해의 평균 수심은 약 2000 m이다. 중력 가속도를 10 m/s^{2}이라고 할 때, 수심 2000 m에서 받는 수압은 얼마인가?

• 1Pa=1 N/m^2

해설 | $P=\rho gh=1.025\times10^3\ \text{kg/m}^3\times10\ \text{m/s}^2\times2000\ \text{m}=2.050\times10^7\ \text{Pa}$

답 2.05×10^7 Pa

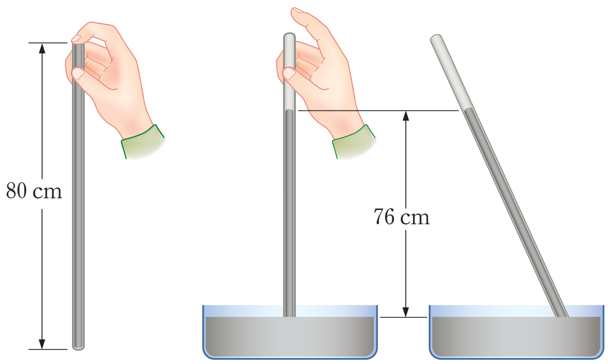


그림 Ⅳ-63 토리첼리관

5. 대기압

이탈리아의 과학자 토리첼리는 1643년 지상에서 대기에 의해 압력을 받고 있으며 이것은 수은의 기둥 높이로 측정할 수 있다는 것을 보이고, 이로부터 펌프에 의해 물을 10 m 이상 끌어올릴 수 없었던 까닭을 설명하였다.

그는 그림 Ⅳ-63과 같이 한쪽 끝이 봉해진 80 cm 정도의 유리관에 밀도가 물의 밀도보다 13.6배나 큰 수은을 넣고 손가락으로 유리관의 구멍을 막은 다음, 뒤집어 수은 용기에 담그고 손가락을 떼었다. 그는 유리관을 모두 채웠던 수은 기둥을 수은 용기에 넣고 바로 세우자 76 cm의 높이까지만 채워진다는 사실을 알았다.

그리고 수은이 자신의 무게에 의해 높이 76 cm까지 내려옴으로써 원래 수은이 있던 자리에 빈 공간이 생기게 된 것을 보고, 이 공간을 진공이라고 판단했다.

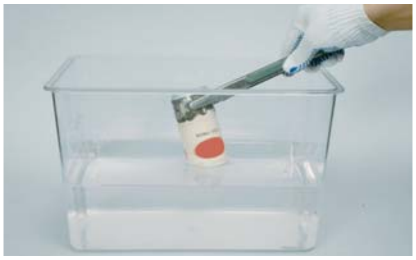
다음 탐구를 통해 대기압의 위력을 경험해 보자.

탐구 12 해 보기 대기압의 위력

준비물 음료수 캔, 가스버너, 금속 집게, 수조, 쇠그물

과 정
1. 그림 (가)와 같이 음료수 캔에 물을 조금 넣고 가스버너로 가열한다.
2. 물이 모두 끓었을 때 그림 (나)와 같이 집게로 집어 물을 가득 담은 수조에 입구가 아래로 가도록 뒤집어 재빨리 넣는다.
   주의 음료수 캔이 급속히 수축하므로 다치지 않도록 주의한다.
3. 수조에 음료수 캔을 넣을 때, 캔이 급격하게 수축하는 모습을 관찰한다.


(가)


(나)


(다)


(라)

정 리 그림 (라)와 같이 음료수 캔이 찌그러지는 까닭을 다음 사항을 고려하여 설명해 보자.
1. 물이 기체에서 액체로 변할 때 부피의 변화
2. 수조에 있는 물의 역할
3. 대기압

예제 15

1기압(atm)이란 0 ℃일 때 표준 중력 가속도 $g=9.8066\ \mathrm{m/s^2}$에서 밀도가 $13.5950\times10^3\ \mathrm{kg/m^3}$인 수은 기둥 76 cm가 만드는 압력이라고 정의한다. 1기압을 압력의 단위 Pa로 나타내라.

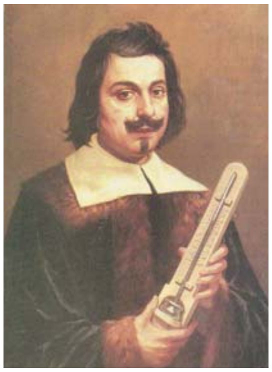
해설 | 중력에 의해 높이 h인 유체가 만드는 압력은 $P=\rho gh$이다.

$$P=(13.5950\times10^3\ \mathrm{kg/m^3})\times(9.8066\ \mathrm{m/s^2})\times(0.7600\ \mathrm{m})$$
$$=1.013\times10^5\ \mathrm{Pa}$$

답 $1.013\times10^5\ \mathrm{Pa}$

과학사

토리첼리



에반겔리스타 토리첼리(1608～1647)는 이탈리아의 과학자로서 갈릴레이의 친구이자 제자였던 카스텔리의 조수였다. 토리첼리는 갈릴레이를 존경하고 그의 이론을 지지하였으며, 그로부터 가르침을 받으려고 애를 썼지만, 여러 사정 때문에 1641년에야 비로소 갈릴레이를 만나게 되었다. 늦게나마 갈릴레이와 함께 기거하면서 함께 연구를 하였지만 불과 3개월 만에 갈릴레이는 세상을 떠났다. 토리첼리는 그곳에서 갈릴레이가 역임했던 대공 페르디난도 2세의 궁정 수학자 자리를 물려받아 1647년 죽을 때까지 그 직을 유지하였다.

1643년 토리첼리가 했던 유리관에서의 수은 기둥 실험은 갈릴레이가 고심했던 생각의 연장선에서 이루어진 것이다. 공기에는 무게가 있다는 것을 이미 알고 있었던 갈릴레이는 펌프 제작자들이 물을 10 m 이상 끌어올릴 수 없었다는 사실에 대해 자연은 진공을 싫어하기 때문이라고 설명하였다. "자연은 진공을 싫어한다."는 주장은 고대 그리스의 아리스토텔레스가 언급한 이래 토리첼리 당시의 철학자에 이르기까지 천년이 넘도록 믿어 왔던 생각이었다. 당시 기술로는 높은 수준의 진공을 만들어 낼 수 없을 뿐만 아니라, 펌프로 공기를 아무리 잘 뽑아낸다고 하더라도 용기에 조금만 틈이 있으면 곧 공기로 채워지기 때문에 갈릴레이마저 자연이 진공을 싫어한다고 생각하였던 것이다. 그러나 토리첼리는 물의 밀도보다 13.6배나 큰 수은을 이용하여 자연이 진공을 싫어함에도 진공이 존재할 수 있다는 것을 증명하였고, 이를 이용해 처음으로 기압계의 원리를 밝혔다.

6. 부력

부력에 얽힌 아르키메데스의 사건은 2300여 년이 지난 오늘까지 아이들에게 흥미로운 이야기로 전해지고 있다. 아르키메데스는 저술 "뜨는 물체에 관하여"에서 "액체에 잠긴 물체는 잠긴 부분의 부피에 해당하는 액체의 무게만큼 가벼워진다."라고 말하였다. 이것을 **아르키메데스 법칙**이라고 한다.



그림 Ⅳ-64 부력의 발견 일화를 담은 그림

부력은 단지 물과 같은 액체에서만 볼 수 있는 것이 아니라 기체에서도 나타난다. 다만 우리의 몸이 물속에 들어갔을 때 느낄 수 있는 효과와는 달리, 대기 중에서 그 효과가 매우 작을 뿐 아니라 이미 대기 중에서의 생활에 익숙해 있기 때문에 우리가 느끼지 못할 뿐이다. 대기 중에서 부력과 관련된 현상은 놀이 공원에서 살 수 있는 헬륨 풍선이나 날아가는 열기구에서 잘 볼 수 있다.

물속에 육면체 금속 덩이를 넣었다고 하자. 원래

물이 있던 자리에 금속 덩이가 들어오면, 물은 금속 덩이의 부피만큼 밀려나게 된다. 밀려난 물은 금속 덩이가 차지한 자리로 되돌아가려고 압력을 주게 되고, 이것이 부력을 발생시킨다.

금속 덩이가 차지한 부피로 물이 되돌아가려는 압력은 중력에 의한 수압 차이 때문에 생긴 것이다. 금속 덩이의 모든 부분에 작용하는 이 압력을 전부 합하면 금속 덩이의 부피에 해당하는 물의 무게와 같다. 따라서 부력은 다음과 같이 말할 수 있다.

"물체에 작용하는 부력은 잠긴 부분의 부피에 해당하는 유체의 무게와 같다."



그림 Ⅳ-65 공기의 부력을 이용한 열기구

밀도가 $\rho_{유체}$인 유체 속에 부피 V인 물체가 잠겼을 때, 이 물체가 받는 부력 F_b는

$$F_b = \rho_{유체} V g$$

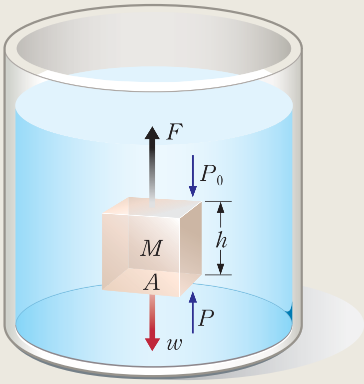
가 된다. 여기서 우리는 부력에 관해 중요한 사실을 알 수 있다. 우리가 일상생활에서 경험하는 부력은 물체가 밀어낸 유체의 무게와 관련되어 있기 때문에 근본적으로는 중력과 관련된 현상이다.

? 물음 5. 밀도가 1.5×10^3 kg/m^{3}인 액체에 질량이 2 kg, 부피가 10^{-3} m^{3}인 금속 물체를 넣었다. 이때 중력 가속도는 10 m/s^{2}이다.

(1) 금속의 밀도를 구하라.
(2) 금속이 액체 속에서 받는 부력을 구하라.
(3) 금속이 액체 속에서 받는 힘은 얼마인가?

한 걸음 **더**

부력에 대한 정량적 계산



그림에서 밀도가 $\rho_{유체}$인 유체에 바닥 단면적이 A, 높이가 h, 질량이 M인 물체가 잠겨 있다. 유체 안에서 물체의 윗면에 수직으로 작용하는 압력을 P_0라고 한다면, 수압과 파스칼 법칙에 의해 아랫면에 수직으로 작용하는 압력은 $P = P_0 + \Delta P = P_0 + \rho_{유체} g h$가 된다. 물체의 바닥 단면적이 A이기 때문에 물체의 윗면과 아랫면에 작용하는 힘의 차이는 $F = A\Delta P = \rho_{유체} g h A$가 된다. 물체 부피는 $V = hA$이므로, 이 힘은 $F = \rho_{유체} V g$이다. 따라서 대기 중에서 무게가 $w = Mg$인 물체가 유체 속에서 받는 힘은 $w - F = (M - \rho_{유체} V) g$가 된다. 물체의 밀도는 $\rho_{물체} = \frac{M}{V}$이므로 이 힘은 물체와 유체의 밀도 차이로 표현된다.

$$w - F = (\rho_{물체} - \rho_{유체}) V g$$

초등학교에서 해보았던 데카르트의 잠수부는 뜨고 가라앉는 운동을 마음대로 조절할 수 있는 놀이 기구이다. 이것을 이용한 다음 탐구를 통해 부력에 관해 자세히 알아보자.

탐구 13 창의 활동 **데카르트의 잠수부**

자 료 데카르트의 잠수부(Cartesian Diver)

'데카르트의 악마' 라고도 부르는 이 기구는 이미 17세기 중반부터 존재했지만 철학자 데카르트와 어떤 관련이 있는지 알려진 바는 없다. 그러나 이탈리아의 라파엘로 마지오티(1597～1656)의 저술에는 이에 관한 기록이 있다. 그는 공기와 달리 물은 압축되지 않는다는 사실을 밝혀내면서 그의 저술에서 이 기구를 설명하였다.





준비물 큰 페트병, 빨대, 클립, 가위

과 정
1. 빨대를 10 cm 정도 잘라 절반되는 지점에서 꺾어 ∧모양이 되게 한다.
2. 빨대 아래 열린 부분에 클립을 끼워 페트병 입구에 들어갈 수 있도록 벌어지지 않게 한다.
3. 빨대로 만든 잠수부 아래에 클립 2～3개를 더 끼운다.
4. 물을 거의 채운 페트병에 잠수부를 넣어 잠수부가 뜨는지 확인한다. 만일 잠수부가 가라앉으면 클립을 하나씩 제거하면서 뜰 수 있도록 한다.
5. 잠수부가 물 위에 뜨면 병마개를 단단히 막는다.
6. 페트병을 손으로 눌러 압력을 줄 때 잠수부의 운동을 관찰한다.
7. 잠수부가 자유롭게 오르내릴 수 있게 압력을 조절한다.
8. 잠수부가 오르내릴 때 빨대 안에 어떤 변화가 있는지 관찰한다.

정 리
1. 잠수부의 운동이 빨대 안의 물기둥 높이와 어떤 관계가 있는지 설명해 보자.
2. 잠수부의 부피를 V, 질량을 M이라고 했을 때 물속에서 잠수부의 무게와 부력을 식으로 나타내 보자. 이때 물의 밀도를 $1\ g/cm^3$로 한다.
3. 페트병에 압력 P가 작용했을 때 잠수부의 질량과 부력의 변화를 식으로 나타내 보자.
4. 페트병에 압력 P를 작용하여 잠수부가 수면에서 h만큼 내려갔을 때 잠수부에 작용하는 무게와 부력을 계산해 보자.

7. 유체의 흐름

앞에서는 유체가 움직이지 않을 때 나타나는 현상을 다루었다. 그러면 유체가 이동할 때 나타나는 현상은 어떻게 될까?

만일 한 지점을 통과한 유체의 모든 입자가 똑같은 경로로 이동한다면 그 흐름을 **층흐름**이라고 한다. 이때 입자가 지나가는 경로를 **유선**이라고 한다. 층흐름에서는 유선이 서로 교차하지 않는 특징을 지닌다.



그림 Ⅳ-66 층흐름을 하는 자동차 풍동 실험

그림 Ⅳ-66은 층흐름을 하는 유선이 서로 교차하지 않는다는 것을 나타낸다. 이 실험을 통해 자동차는 공기의 저항을 적게 받게 설계된다.

반면 유체의 속력이나, 밀도, 압력 등이 급격히 바뀌게 되면 유체의 흐름은 불규칙해진다. 이때의 흐름을 **난류**라고 한다.

그림 Ⅳ-67은 빠르게 이동하는 유체가 장애물 뒤에서 불규칙하게 움직이게 되는 난류의 흐름을 보여주고 있다.

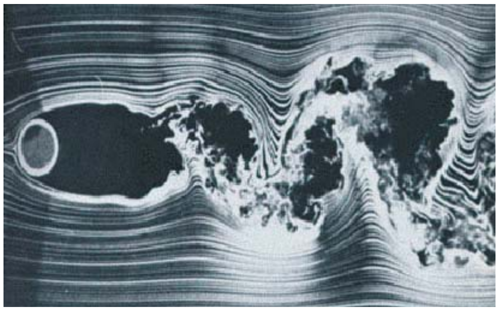


그림 Ⅳ-67 장애물에 의한 난류의 발생

또, 그림 Ⅳ-68과 같이 수도꼭지를 세게 틀어 많은 양의 물이 빠른 속력으로 나오면 수돗물은 난류의 특성을 보인다.



그림 Ⅳ-68 수도관에서의 물의 흐름

8. 연속 방정식

유체의 연속 방정식은 유체의 질량이 보존되어야 한다는 것을 의미한다. 즉 유체가 관을 따라 흐를 때, 주어진 시간 동안 이동한 유체의 질량이 어느 지점에서나 항상 같아야 한다는 것을 뜻한다.

예를 들어 그림 Ⅳ-69와 같이 굵기가 변하는 관을 통해 유체가 통과한다고 하자. 질량이 보존되어야 하기 때문에 같은 시간 동안 단면적 A_1과 A_2를 통과한 질량은 서로 같아야 한다.

A_1에서 유체의 속력이 v_1, 밀도가 ρ_1이고, A_2에서 각각 v_2, ρ_2라고 한다면 질량 보존에 의해

$$\rho_1 v_1 A_1 \Delta t = \rho_2 v_2 A_2 \Delta t$$

이다. 만일 이동하는 동안 유체가 압축되는 않는다면 유체의 밀도는 변하지 않는다. 따라서 A_1을 통과한 유체의 부피는 같은 시간 동안 A_2를 통과한 부피와 같다.

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

이 식을 비압축적인 유체의 **연속 방정식**이라고 한다.

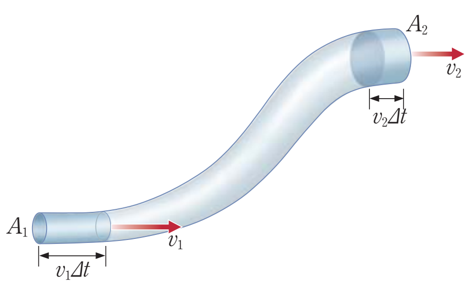


그림 Ⅳ-69 단면적에 따른 속도의 변화

9. 베르누이 법칙

베르누이는 비압축적이고 점성을 가지지 않은 유체가 층흐름을 보일 때, 에너지 보존 법칙을 이용하여 베르누이 법칙을 유도하였다.

그림 Ⅳ-70에서 유체의 밀도 ρ, 유체의 속력 v, 유체가 주는 압력 P일 때 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$P+\frac{1}{2}\rho v^2+\rho gh=\text{일정}$$

이 식에 의하면 같은 높이일 때 빠르게 움직이는 유체는 천천히 흐르는 유체보다 작은 압력을 준다. 이것을 베르누이 법칙이라고 한다.

한걸음 더

베르누이 법칙의 증명

그림 Ⅳ-70과 같이 시간 Δt 동안 유체가 단면적이 균일하지 않은 관을 통해 흐른다고 하자.

단면적이 A_1인 지점에서 유체의 속력 v_1, 압력 P_1일 때 단면에 수직으로 작용하는 힘은 $F_1=P_1A_1$이 된다. 이때 유체가 이동한 거리는 $\Delta x_1=v_1\Delta t$이므로, 유체에 작용하는 힘 F_1이 한 일은 다음과 같다.

$$W_1=F_1\Delta x_1=P_1A_1v_1\Delta t=P_1V_1$$

같은 방식으로 Δt 동안 단면적이 A_2인 지점에서 유체에 대해 한 일은

$$W_2=F_2\Delta x_2=P_2A_2v_2\Delta t=P_2V_2$$

와 같다. 유체가 비압축적인 경우 연속 방정식에 의해 V_1과 V_2는 같아야 하기 때문에 $V_1=V_2=V$라고 한다면 위의 두 식으로부터 Δt 동안 유체가 한 알짜일은 다음과 같다.

$$W=W_1-W_2=(P_1-P_2)V$$

이 일은 유체의 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 변화로 표현될 수 있다. 이때 Δt 동안 단면적을 통과한 질량을 m이라고 한다면 유체의 운동 에너지 변화는

$$\Delta E_k=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$$

이며, 높이에 따른 퍼텐셜 에너지의 변화는

$$\Delta E_p=mgh_2-mgh_1$$

이 된다. 알짜일이 모두 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 변화로 바뀌었기 때문에

$$W=\Delta E_k+\Delta E_p$$

$$(P_1-P_2)V=\left(\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2\right)+(mgh_2-mgh_1)$$

이다. 밀도 $\rho=\frac{m}{V}$이기 때문에 양 변을 부피 V로 나누어 주고 정리하면 다음과 같다.

$$P_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2+\rho gh_1=P_2+\frac{1}{2}\rho v_2^2+\rho gh_2$$

임의의 두 지점에 대해 이 식이 성립하기 때문에 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$P+\frac{1}{2}\rho v^2+\rho gh=\text{일정}$$

만일 관이 같은 높이를 유지한다면 이 식은 다음과 같다.

$$P+\frac{1}{2}\rho v^2=\text{일정}$$

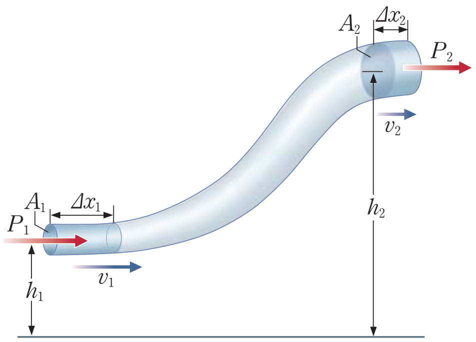


그림 Ⅳ-70 베르누이 법칙

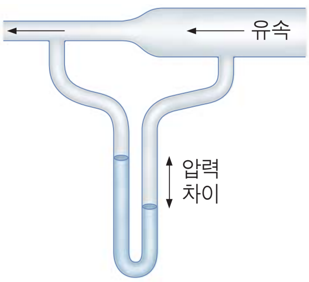


그림 Ⅳ-71 벤츄리관

탁구공을 띄워 베르누이 법칙을 확인해 보자.

탐구 14 해 보기 **탁구공을 띄우자.**

- **준비물** 탁구공 또는 비슷한 크기의 스타이로폼 공, 중간에 주름이 있는 음료수 빨대, 가위
- **과 정**
  1. 빨대 끝을 2～3 cm 정도 그림과 같이 세로로 잘라 Y 모양으로 만든다.
  2. 탁구공을 얹어 놓고 빨대의 다른 끝에서 입으로 불면서 공의 움직임을 관찰한다.



- **정 리**
  1. 떠있는 공에 작용하는 힘에는 어떤 것이 있는지 설명해 보자.
  2. 베르누이 법칙이 적용되는 힘은 어디에 작용하고 있는지 설명해 보자.

베르누이 법칙을 적용하여 유체의 압력이나 속력을 측정할 수 있는 장치로 벤츄리관이나 피토관이 있다.

벤츄리관은 유체의 속력이 달라지면 압력이 어떻게 변하는지를 보여줄 수 있는 장치이다. 그림 Ⅳ-71에서 단면적이 좁은 곳에서 액체의 높이는 단면적이 넓은 곳에서의 액체 높이보다 높다. 이것은 단면적이 좁은 곳에서 압력이 더 낮아진다는 것을 의미함과 동시에 관이 좁은 곳에서는 유속이 빨라진다는 것을 의미한다. 유속의 차이가 압력의 차이를 만들고 이는 곧 액체의 높이 차이로 나타낼 수 있다.

베르누이 법칙이 적용된 대표적인 예 중의 하나가 양력을 얻기 좋은 항공기의 날개 모양이다. 그림 Ⅳ-72와 같이 날개 앞에서 인접한 공기 입자들이 동시에 출발하여 날개 뒤에서 동시에 만난다고 한다면, 날개 위를 지나가는 공기의 흐름은 날개 아래를 지나간 공기의 흐름보다 빨라야 한다.



베르누이(Bernoulli, D.; 1700～1782)

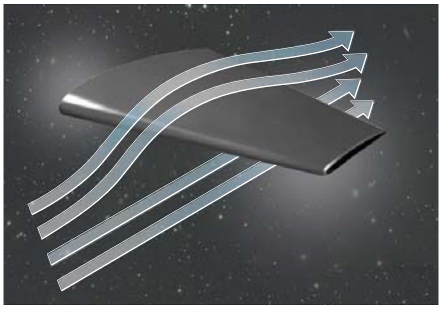
스위스의 물리학자. 다방면에서 뛰어난 재주를 보였다. 그에 대해 가장 잘 알려진 것은 1738년 발표한 유체 역학에서의 베르누이 법칙이지만, 그는 천문학과 해양학에 관한 주제로 프랑스 파리 아카데미에서 최우수상을 10번이나 수상하였다.

피토관(Pitot tube)

베르누이 법칙을 적용하여 항공기의 속력을 측정하는 데 사용하는 장치이다. 항공기 동체나 날개에 붙어있고, 초음속 전투기의 경우 앞부분에 장치되기도 한다.







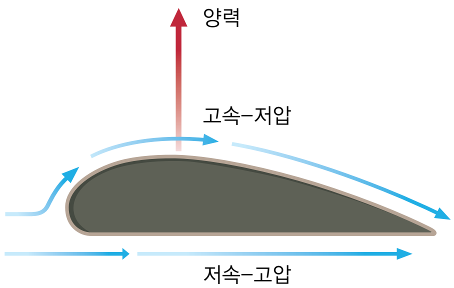


그림 Ⅳ-72 비행기 날개에서의 공기의 흐름

날개 위를 통과하는 공기의 속력이 v_2, 날개 아래를 통과하는 공기의 속력이 v_1이라면, 베르누이 법칙에 따라 날개 아래와 위 사이의 압력 차이 P_1-P_2는 ${v_2}^2-{v_1}^2$에 비례한다.

따라서 지상을 달리는 비행기의 속력이 커지면 커질수록 압력의 차이는 더욱 커지게 되고, 만일 이 압력의 차이에 의한 양력이 비행기의 무게보다 커진다면 비행기는 위로 뜰 수 있게 된다.

창의력 2. 만일 비행기가 베르누이의 법칙에 의해서만 하늘을 날 수 있다면, 그림 Ⅳ-73과 같이 천으로 날개를 만든 행글라이더의 비행이나 뒤집어 나는 곡예 비행은 불가능할 것이다.
이처럼 비행기가 뜰 수 있는 힘을 받는 데는 베르누이 법칙 말고 또 무엇이 있을까?



(가) 행글라이더



(나) 곡예 비행

그림 Ⅳ-73 곡예 비행과 행글라이더

예제 16

순수하게 베르누이 법칙에 의해 발생하는 양력을 계산하여 보자. 비행기 날개의 면적이 $2\times3\ \mathrm{m}^2$이고, 날개 위의 공기 속력이 245 m/s, 아래는 222 m/s이다.

(1) 0℃에서 공기 밀도가 $\rho_{0℃}=1.29\ \mathrm{kg/m^3}$일 때
(2) 30℃에서 공기 밀도가 $\rho_{30℃}=1.16\ \mathrm{kg/m^3}$일 때

해설 | $P_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2=P_2+\frac{1}{2}\rho v_2^2$이 성립하므로 $\Delta P=P_1-P_2=\frac{1}{2}\rho(v_2^2-v_1^2)$이다.
양력은 $F=$(압력 차이)×(비행기 날개 면적)으로 계산할 수 있다.
(1) 0℃에서 $\Delta P=\frac{1.29\ \mathrm{kg/m^3}}{2}\times[(245\ \mathrm{m/s})^2-(222\ \mathrm{m/s})^2]=6927.945\ \mathrm{N/m^2}$
로부터 $F_{0℃}=6927.945\ \mathrm{N/m^2}\times2\times3\ \mathrm{m^2}=4.16\times10^4\ \mathrm{N}$
(2) 30℃에서 $\Delta P=\frac{1.16\ \mathrm{kg/m^3}}{2}\times[(245\ \mathrm{m/s})^2-(222\ \mathrm{m/s})^2]=6229.78\ \mathrm{N/m^2}$
으로 $F_{30℃}=6229.78\ \mathrm{N/m^2}\times2\times3\ \mathrm{m^2}=3.74\times10^4\ \mathrm{N}$

중력 가속도를 $10\ \mathrm{m/s^2}$이라고 할 때, 각각의 양력에 해당하는 비행기의 한계 질량은 다음과 같다.
0℃일 때 $m_{0℃}=\frac{4.16\times10^4\ \mathrm{N}}{10\ \mathrm{m/s^2}}=4.16\times10^3\ \mathrm{kg}$
30℃일 때 $m_{30℃}=\frac{3.74\times10^4\ \mathrm{N}}{10\ \mathrm{m/s^2}}=3.74\times10^3\ \mathrm{kg}$
으로 된다.
위의 결과로부터 무더운 여름날 비행기의 화물을 많이 싣지 못하는 까닭을 이해할 수 있다. 또한 무더운 날에는 비행기가 뜨기 충분한 양력을 얻기 위해 기온이 낮을 때보다 더 빨리 활주로를 달려야 하기 때문에 활주로의 길이가 더 많이 필요하다.

답 (1) $4.16\times10^4\ \mathrm{N}$ (2) $3.74\times10^4\ \mathrm{N}$

10. 마그누스 힘

야구 경기에서 투수가 포수에게 야구공을 던질 때 공의 방향을 원하는 대로 바꿈으로써 타자가 공을 치기 어렵게 만든다.

날아가는 공이 방향을 바꾸는 까닭은 공이 회전하면서 날아가기 때문이며, 이를 **마그누스 효과**라고 한다.

이와 같은 마그누스 효과는 어떻게 나타날까?

다음 탐구와 같이 종이컵을 이용하여 이에 대하여 알아보자.



그림 Ⅳ-74 야구에서 투수는 물리학의 법칙을 감각적으로 탁월하게 활용하고 있다.

탐구 15 해 보기 **마그누스 효과**

- **준비물** 종이컵 두 개, 테이프 또는 글루건, 긴 고무줄

- **과 정**
  1. 종이컵 두 개의 바닥을 서로 마주 보게 하고 테이프나 글루건으로 붙인다.
  2. 고무줄 끝을 서로 연결하여 묶는다.
  3. 붙인 컵 가운데를 고무줄로 2바퀴 정도 감고 손가락으로 고무줄을 당겨 앞으로 향해 종이컵을 쏜다.
  4. 고무줄을 감는 방향을 반대로 하여 같은 방식으로 종이컵을 쏜다.
  5. 종이컵의 회전 방향에 따라 종이컵이 어느 쪽으로 힘을 받는지 관찰한다.



- **정 리**
  1. 종이컵의 회전 방향과 날아가는 방향을 설명해 보자.
  2. 종이컵의 회전 방향에 따라 날아가는 방향이 달라지는 까닭을 알아보자.

마그누스 힘의 근원은 유속의 차이에 의한 압력의 차이, 즉 베르누이 법칙이다. 그림 Ⅳ-75와 같이 공이 회전하면서 날아갈 때 유속의 방향과 공의 회전 방향이 일치하는 부분에서는 유속의 크기가 공의 속력보다 더 빨라진다.

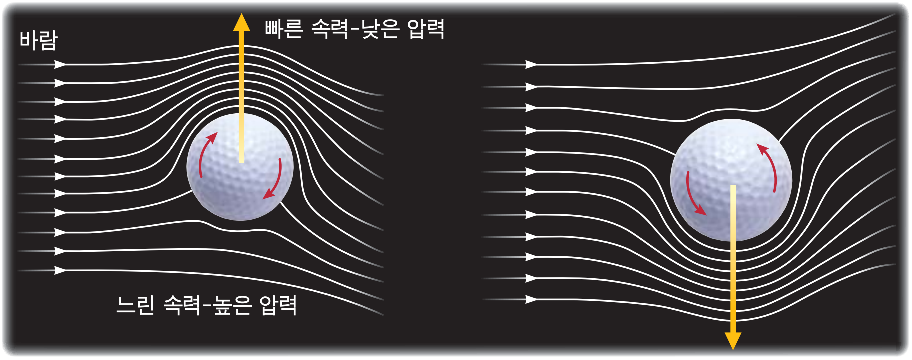
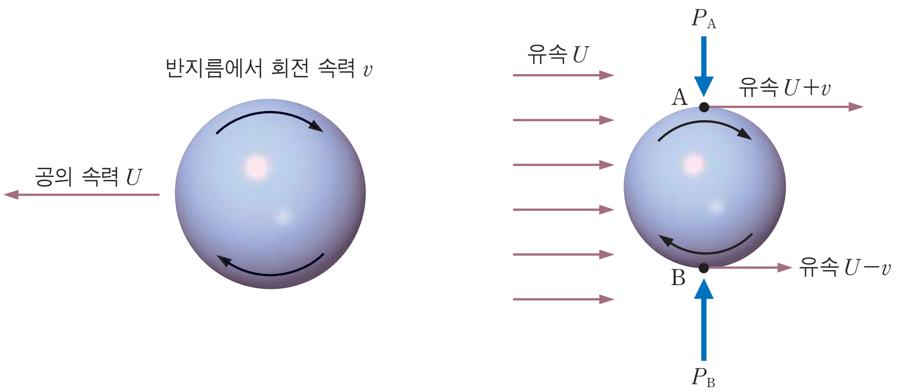


그림 Ⅳ-75 공이 회전하면서 갈 때 마그누스 힘의 방향

그림 Ⅳ-76과 같이 속력 U로 날아가는 공은 마치 정지해 있는 공을 향해 바람이 속력 U로 불어오는 것과 같다.

공이 회전하면서 날아갈 때 공의 반지름에서 회전 속력을 v라고 하면, 공의 A 지점에서 공기의 흐름은 $U+v$의 속력이 되고, B 지점에서는 속력이 $U-v$가 된다.



(가) 지상에 관찰했을 때 공의 운동 (나) 공의 중심에서 관찰했을 때의 유속

그림 Ⅳ-76 공이 회전하며 날아갈 때 방향이 변하는 까닭

공기 밀도가 ρ일 때 A지점에서의 압력은

$$P_A+\frac{1}{2}\rho(U+v)^2$$

이고, B지점에서의 압력은

$$P_B+\frac{1}{2}\rho(U-v)^2$$

이 되므로 베르누이 법칙에 따라 이들의 크기는 서로 같다. 즉,

$$P_A+\frac{1}{2}\rho(U+v)^2=P_B+\frac{1}{2}\rho(U-v)^2$$

으로부터 $P_A<P_B$가 성립한다. 따라서 압력이 큰 B쪽에서 압력이 작은 A쪽으로 미는 힘이 공에 작용하게 된다.

반면 유속의 방향과 회전 방향이 반대인 부분에서 유속은 공의 속력보다 더 느려진다. 따라서 베르누이 법칙에 따라 공기의 압력이 작아지는 쪽으로 힘을 받게 된다. 공의 회전 방향이 바뀌게 되면 힘을 받는 방향도 바뀌게 된다. 마그누스 힘이 작용하면 회전하는 물체는 회전 방향과 진행 방향이 만드는 평면의 수직한 방향으로 움직이게 된다.



(가) 체인지업 (나) 커브볼 (다) 슬라이더 (라) 포크볼

그림 Ⅳ-77 야구공을 쥐는 방법에 따라 공의 방향을 바꿀 수 있다.

마그누스 힘에 의한 효과는 공을 다루는 스포츠에서 많이 볼 수 있다. 축구나 야구, 탁구 등에서 선수들은 공에 강한 회전을 주어 상대방이 예측할 수 없는 방향으로 공이 움직이게 한다.

스포츠 이외에도 마그누스 효과를 이용한 사례가 있는데 그중 대표적인 것이 그림 Ⅳ-78과 같이 마그누스 효과에 의해 추진력을 얻는 배가 있다.

돛이나 스크루의 회전에 의해 배의 추진력을 얻는 대신, 바람이 불 때 배에 수직으로 세운 원통을 회전시켜 마그누스 힘을 생기게 하여 이 힘으로 배가 앞으로 나가도록 한 것이다.

실제로 네덜란드의 공학자 플레트너는 마그누스 효과에 의해 추진되는 배를 건조하여 1926년 대서양을 횡단하였다.

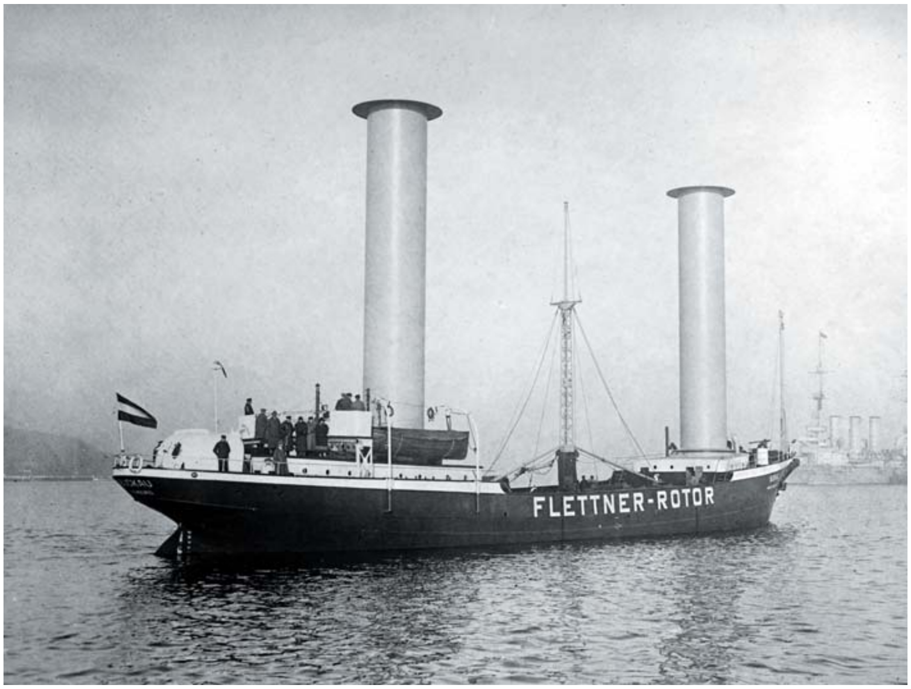
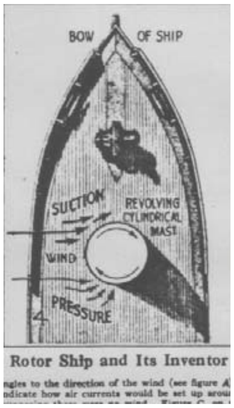


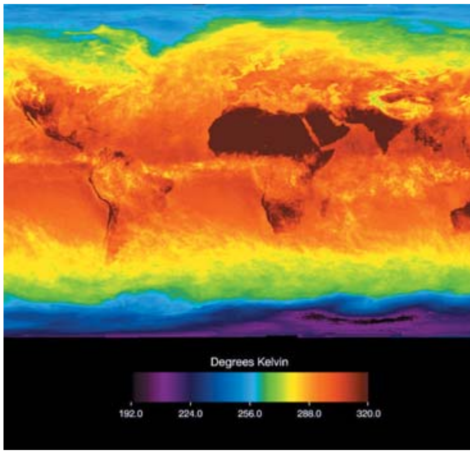
그림 Ⅳ-78 마그누스 효과에 의해 추진되는 배



배가 마그누스 효과에 의해 어떻게 추진될 수 있는지에 대해 당시 신문에 실린 설명

창의력 3. 배의 앞머리를 기준으로 시계 방향으로 회전하는 원통형 돌개가 있다고 하자. 배의 왼쪽에서 바람이 분다고 할 때, 압력 차이에 의해 배는 앞으로 나가게 된다. 그러나 오른쪽에서 바람이 분다면 배는 뒤로 가는 힘을 받게 될 것이다.
또 바람이 배의 앞에서 불거나 뒤에서 분다면 배는 옆으로 힘을 받을 것이다.
바다에서 부는 바람은 배가 원하는 대로 항상 불지 않는다.
이제 여러분이 '마그누스 호'를 타고 항해를 한다고 할 때, 여러분은 바다에서 어떻게 조종해야 원하는 목적지를 향해 갈 수 있는지 설명해 보자.
이를 위해 범선이나 요트가 바람을 어떻게 이용하여 앞으로 나아가게 되는지 조사하고, 이 방법을 '마그누스 호'에도 적용할 수 있는지 알아보자.

3 열역학 법칙과 열기관



학습 목표

1. 열과 온도의 기본 개념과 관계식을 이해한다.
2. 열역학 과정에서의 열 출입에 의한 온도, 압력, 부피의 변화를 안다.
3. 열역학 법칙을 이용하여 열기관의 작동 원리를 설명할 수 있다.
4. 열의 전달과 물질의 상태 변화가 에너지의 이동과 전환임을 안다.

온도는 덥고 찬 정도를 의미하지만, 같은 물체라도 개인마다 덥고 찬 느낌은 서로 다르다. 예를 들어 날씨가 추운 날 운동장에서 운동을 하고 집의 거실에 들어가면 덥다는 느낌을 받지만, 욕실에서 뜨거운 물로 샤워를 하고 거실로 나오면 시원한 느낌을 받는다. 이렇게 거실의 온도는 같아도 사람의 상태에 따라 덥고 차가운 것을 느끼는 정도가 서로 다르기 때문에 온도를 사람의 주관적인 느낌으로 표현하지 않고 측정할 수 있는 수치로 나타내게 되었다.

1. 온도와 열

온도가 무엇인지 정확히 알지 못했던 시절에도 실용적인 필요에 의해 온도를 측정하려는 시도가 있었다. 갈릴레이는 1592년쯤 그림 Ⅳ-79와 같이 공기의 뜨겁고 차가운 정도를 알 수 있는 원시적 형태의 온도계인 서머스코프(thermoscope)를 발명하였다.



그림 Ⅳ-79 갈릴레이가 발명한 서머스코프

그 후 여러 사람이 온도를 수치로 나타내려고 노력하였지만, 1724년 파렌하이트에 와서야 비로소 보편적으로 재현 가능한 온도의 척도가 제시되었다. 그의 제안에 기초한 화씨온도는 물의 어는점을 32°F, 끓는점을 212°F로 정하고 그 사이를 180등분 한 것이다. 한편 1742년에 셀시우스가 제안한 것을 바탕으로 만들어진 섭씨온도는 물의 어는점과 끓는점을 각각 0°C와 100°C의 기준점으로 하고 그 사이를 100등분한 것이다.

예제 17

°C와 °F 사이의 관계식을 구하고, 이로부터 0°F와 100°F에 해당하는 °C를 구하라.

해설 | 어는점에서 끓는점까지 화씨온도에서는 180등분을 하였고, 섭씨온도에서는 100등분을 하였다. 따라서 1 °C의 간격은 $\frac{180}{100}$°F$=\frac{9}{5}$°F의 간격과 같다. 또 °C의 0이 되는 지점이 °F에서는 32라는 값을 갖기 때문에 두 온도 단위의 환산식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$T_{°F}=32+\frac{9}{5}T_{°C},\ 또는\ T_{°C}=\frac{5}{9}(T_{°F}-32)$$

위 식으로부터 0°F는 −32°C이며 100°F는 약 37.8°C이다.

창의력 4. 지구와 같은 환경을 가진 행성에 사는 외계인들은 온도 단위 °E를 사용한다. 그들의 척도에 따르면 1기압에서 물이 −25°E에서 얼고 125°E에서 끓는다. °E를 ℃로 바꾸는 식을 구하라.

표 Ⅳ-8 여러 가지 온도의 예

물질	℃
절대 영도	−273.15
헬륨 끓는점	−269
질소 끓는점	−196
산소 끓는점	−183
CO_2 어는점	−79
물 어는점	0
알코올 끓는점	78
물 끓는점	100
금 녹는점	1063
강철 녹는점	약 1300
텅스텐 녹는점	약 3410
태양 표면	6000

지구의 1기압에서 물의 어는점은 섭씨온도와 화씨온도에서 정한 기준점 중에 하나이다. 그러나 이 기준은 지구 환경에서 보편적으로 적용될 수 있지만 지구 밖에서는 적용될 수 없다. 따라서 물리학자들은 우주적인 보편성을 가진 기준점으로 온도의 단위를 정할 필요성을 느끼게 되었다.

이에 따라 국제 도량위원회는 과학적 보편성을 기준으로 하는 절대 온도를 정하고 그 단위를 K(켈빈)이라고 명명하였다.

절대 온도의 기준점 0 K은 물질을 구성하고 있는 입자들의 고전적 운동이 완전히 정지되는 이론적 상태의 온도로서, 이는 −273.15℃에 해당한다.

절대 온도의 눈금 간격은 섭씨온도와 같게 정의되었으므로 절대 온도와 섭씨온도의 관계는 다음과 같다.

$$T(\mathrm{K})=T(℃)+273.15$$

2. 온도, 열, 열에너지

입자들 사이에 상호 작용이 없는 이상적인 경우에 물체의 분자나 원자들의 운동에너지를 내부 에너지, 또는 **열에너지**라고 한다. 즉 이 단원에서는 어떤 계에서 이상적인 입자들의 총 운동 에너지, 내부 에너지, 열에너지를 모두 같은 뜻으로 사용할 것이다.

고전적으로 온도는 열에너지를 분자 수로 나눈 값, 즉 분자 하나의 평균 운동 에너지에 해당하는 값이다.

어떤 물체의 온도가 높다는 것은 그 물체를 구성하고 있는 분자들이 온도가 낮은 상태의 분자들보다 더 활발하게 운동한다는 것을 뜻한다. 절대 온도 T는 분자들의 평균 운동 에너지 $\overline{E}_\mathrm{k}$에 비례한다.

$$\overline{E}_\mathrm{k} \propto T$$

이 식에 의하면 절대 온도가 0인 상태에서는 입자들의 모든 운동이 정지하게 된다는 것을 알 수 있다.

온도는 분자들의 운동 에너지의 평균값이기 때문에 물체의 크기에 무관하지만, 열에너지는 분자들의 운동 에너지 총합이기 때문에 물체 크기에 관계된다.

예를 들어 같은 온도의 뜨거운 물 2 L와 10 mL는 평균 운동 에너지가 서로 같지만, 열에너지의 크기는 서로 다르다. 따라서 많은 양의 뜨거운 물은 천천히 식지만, 같은 온도의 적은 양의 물은 더 빨리 식는다.

서로 다른 내부 에너지를 갖고 있는 계를 생각해 보자.

예를 들어 주변보다 뜨거운 물체를 오래 두면 물체의 온도는 방안의 온도와 같아지게 된다. 물체에서 온도의 변화가 일어난 것은 물체와 방안의 공기 사이에 에너지의 이동이 일어났기 때문이다.

평균 운동 에너지가 서로 다른 두 물체를 접촉하면 분자의 진동이 접촉을 통해 높은 온도에서 낮은 온도 쪽으로 운동 에너지가 전달된다. 즉 물체가 가지고 있는 열에너지와 방 안의 공기가 가지고 있는 열에너지의 차이로 에너지 흐름이 생겨 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 에너지가 이동한다. 이때 온도 차이에 의해 이동한 에너지를 **열**이라고 한다.

3. 이상 기체의 상태 방정식

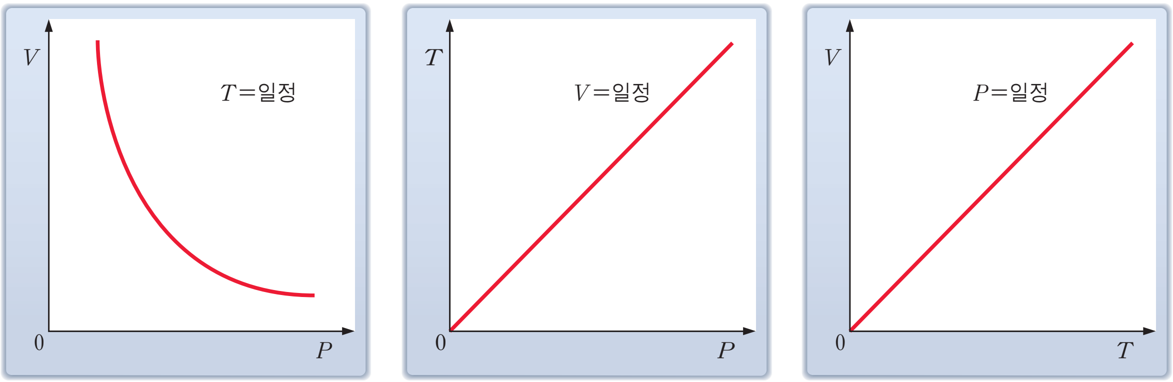
기체는 자유롭게 움직이는 수많은 분자로 구성되어 있다. 분자들의 운동을 하나하나 모두 알아낼 수는 없지만 그 분자들 전체가 행동하는 특성은 절대 온도 T, 압력 P, 부피 V라는 개념으로 쉽게 설명될 수 있다.

만일 기체를 구성하고 있는 입자들, 즉 원자나 분자들이 무작위로 움직이고 서로 힘이 작용하지 않으며, 입자들의 크기가 없어 점과 같다고 하자. 이런 기체는 실제 존재하지 않기 때문에 **이상 기체**라고 하는데, 이상 기체의 경우 T, P, V 사이에는 다음과 같은 방정식이 성립한다.

$$PV=Nk_{B}T$$

N은 이상 기체의 전체 입자 수이며 압력, 부피, 온도의 단위는 각각 Pa, m^3, K로 나타내고 $k_{B}=1.38\times10^{-23}$ J/K인 볼츠만 상수이다. 이것을 **이상 기체 상태 방정식**이라고 하며, 입자마다 운동 상태를 정확히 모르더라도 이 식을 통하여 이상 기체의 행동을 서술할 수 있다.

그림 Ⅳ-80은 이상 기체와 관련된 그래프를 나타낸 것이다.



(가) V-P 그래프 (나) T-P 그래프 (다) V-T 그래프

그림 Ⅳ-80 이상 기체 그래프

이상 기체는 실제로 존재하지 않는 가상적인 모형이지만, 1기압 실온에서 대부분의 기체는 기체의 종류에 관계없이 이상 기체나 다름없는 행동을 한다. 따라서 이상 기체 상태 방정식은 실제 기체의 행동을 설명하는 데 아주 좋은 식이 된다.

연구 7. 1기압 실온에서 실제 기체는 이상 기체와 다름없이 행동한다. 그러나 어떤 상황에서 실제 기체는 이상 기체와 달라진다. 드라이아이스를 예로 들어 실제 기체가 이상 기체와 다른 점을 설명하고, 어떤 조건에서 실제 기체는 이상 기체와 다르게 행동하는지 설명해 보자.

4. 열역학 제0법칙

접촉하고 있는 물체들 사이의 온도가 같아지는 현상을 열평형이라고 한다.

다음 탐구를 통해 열평형과 온도에 대해 알아보자.

탐구 16 실험 열역학 제0법칙

준비물 냉장고에 넣어 둔 한 컵의 찬물, 온도계, 시계

과 정
1. 방안의 온도를 측정한다.
2. 냉장고에 넣어 충분히 냉각시킨 한 컵의 물을 꺼내 온도를 측정한다.
3. 책상 위에 컵을 놓고 1분 간격으로 물의 온도를 측정한다.
4. 30분간 측정한 온도를 시간–온도의 그래프로 그려본다.

정 리
1. 물의 온도는 시간에 따라 어떻게 변하는지 설명해 보자.
2. 물의 온도가 최종적으로 방안의 온도와 왜 같아지는지 설명해 보자.

탐구 16과 같이 방의 공기와 컵의 물이라는 서로 다른 온도의 두 물체가 접촉하여 궁극적으로는 서로 온도가 같아지게 되는 것을 **열평형**이라고 한다. 그런데 여기에는 온도계라는 제3의 물체에 의해 방안 온도와 컵의 온도를 각각 측정함으로써 서로 온도가 같아졌다는 결론을 얻었다. 따라서 우리가 온도를 측정했다는 것은 그 순간 온도계와 물체 사이에 열평형이 이루어져서 온도가 같아졌다는 것을 의미한다.

열평형을 이루었다는 것은 접촉하는 두 물체 분자들의 평균 운동 에너지가 같아졌다는 것이다. 즉 두 물체가 가지고 있는 분자 운동 에너지의 총량인 열에너지는 서로 다르지만, 그것의 분자들에 대한 평균값은 같기 때문에 온도가 같아진 것이다.

이렇게 A라는 물체와 C라는 물체가 열평형을 이루어 온도가 같아지고 B라는 물체가 C와 열평형을 이루었다면, A와 B는 서로 열평형을 이룬 것이다. 이것을 **열역학 제0법칙**이라고 부른다. 이 법칙은 온도 측정의 이론적 기반이 된다.

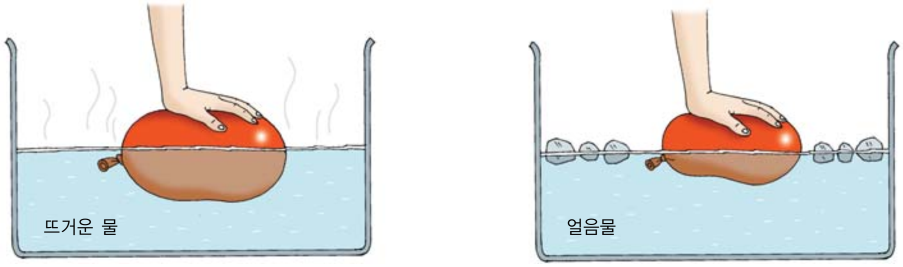
5. 열역학 제1법칙

간단한 해보기 실험들을 통해 에너지 교환을 통한 열에너지, 열, 일의 변화와 이에 수반되는 온도, 부피, 압력의 변화에 대해 알아보자.

탐구 17 해 보기 일과 열

준비물 고무풍선 2개, 뜨거운 물이 담긴 수조, 얼음물이 담긴 수조

과 정
1. 고무풍선 두 개에 바람을 불어넣고 입구를 잡아맨다.
2. 고무풍선 하나를 뜨거운 물에 담근다.
   주의 풍선이 터지지 않도록 주의한다.
3. 다른 하나의 풍선을 얼음물에 담근다.



정 리
1. 뜨거운 물에 담근 풍선은 부피가 늘어났다. 공기의 부피를 증가시키는 데 필요한 에너지는 어디서 왔는가?
2. 얼음물에 담근 풍선은 부피가 줄었다. 공기의 부피가 줄어들 때 공기는 외부로부터 에너지를 받았을까? 아니면 외부에 에너지를 주었을까?

풍선의 공기가 팽창하거나 수축할 때 풍선의 탄성으로 압력이 항상 일정하게 유지되는 것이 아니지만, 여기서는 부피 변화의 과정 동안 압력이 일정하게 유지되고 있다고 가정하자. 풍선의 공기는 온도가 다른 물과 접촉할 때에 에너지 교환을 통해 열적 평형 상태로 진행하려고 한다. 뜨거운 물은 공기보다 높은 온도에 있기 때문에 열에너지는 물에서 풍선으로 이동했고, 그 결과 풍선은 부피가 증가하였다. 따라서 물이 지닌 열에너지는 풍선의 부피를 증가시켜 역학적 일을 한 것이다.

반면 얼음물에 풍선을 넣으면 온도가 높은 풍선 속의 공기로부터 열에너지가 물로 이동하였다.

공기에서 감소한 열에너지는 기체의 부피를 줄였다. 이렇게 어떤 계가 외부로부터 에너지를 받으면 외부로부터 일을 받지만, 외부에 에너지를 줄 때는 일을 외부에 해주어야 한다.

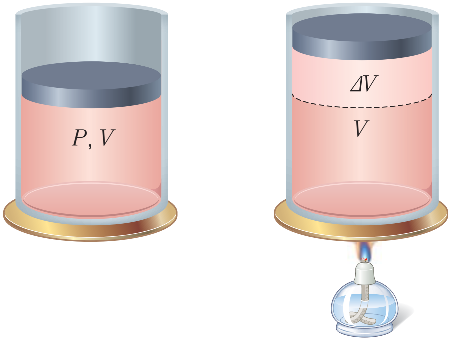


그림 Ⅳ-81 등압 과정에 의한 일

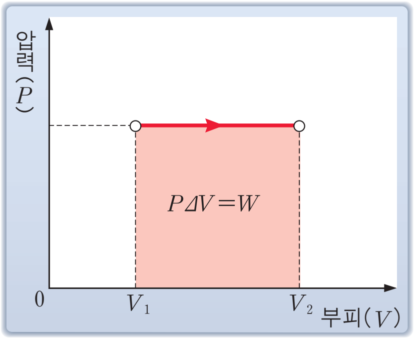


그림 Ⅳ-82 P-V 그래프

그림 Ⅳ-81과 같이 이상 기체로 채워진 실린더가 있고 실린더의 피스톤이 자유롭게 움직일 수 있다. 실린더 안의 기체는 부피 V, 압력 P인 상태에 있다. 압력을 일정하게 유지하면서 부피를 ΔV만큼 변화시켰을 때 기체가 해준 일 W는

$$W=P\Delta V$$

와 같다. 만일 부피가 늘어났다면 기체가 일을 받은 것이고, 부피가 줄었다면 기체가 일을 해준 것이다. 이것을 그림 Ⅳ-82와 같이 그래프로 나타내면 P-V 그래프에서 일은 그래프가 그리는 면적에 해당한다. 여기서 얻은 결과를 이용하면 이제부터 우리는 P-V 그래프만 주어지면 이로부터 해준 일을 쉽게 계산할 수 있다.

외부와 에너지 교환을 통해 계에 일을 해 주거나 계가 일을 했을 때 계에는 에너지 출입에 상응하는 상태의 변화가 생긴다. 이런 상황을 일반적인 형태로 진술하면, 어떤 계가 외부로부터 열에 의해 유입된 에너지를 Q라 하고 계가 한 일을 W라고 할 때 계의 내부 에너지 변화 ΔU는 다음과 같다.

$$\Delta U=Q-W$$

이것은 한 계가 외부와의 에너지 출입을 의미하는 열 Q와 계가 외부와 역학적 상호 작용을 의미하는 일 W의 합은 계의 내부 에너지, 즉 이상 기체의 경우 내부 에너지의 변화 ΔU와 같다는 것이다. 따라서 이것은 넓은 의미의 에너지 보존 법칙이 되며, 이를 **열역학 제1법칙**이라고 한다.

예제 18

어떤 이상 기체가 4.00×10^3 J의 에너지를 흡수하여 주위에 1.50×10^3 J의 일을 하였다.

(1) 계의 내부 에너지는 얼마나 변했는가?

(2) 압력이 1기압을 유지하면서 계의 내부 에너지가 4.00×10^3 J 증가하였고, 외부에서 에너지 7.00×10^3 J 을 흡수하였다면 부피의 변화는 얼마인가?

해설 | (1) $\Delta U=Q-W$로부터

$$\Delta U=4.00\times10^3\text{ J}-1.50\times10^3\text{ J}=2.50\times10^3\text{ J}$$

(2) $W=Q-\Delta U=7.00\times10^3\text{ J}-4.00\times10^3\text{ J}=3.00\times10^3\text{ J}$.

즉, 외부에 일을 3.00×10^3 J 만큼 해주었다. 일을 했을 때 압력이 1기압 $=1.013\times10^5\text{ Pa}=1.013\times10^5\text{ N/m}^2$으로 일정하게 유지되었기 때문에

$$\Delta V=\frac{3.00\times10^3\text{ J}}{1.013\times10^5\text{ N/m}^2}=2.97\times10^{-2}\text{ m}^3$$

답 (1) 2.50×10^3 J (2) 2.97×10^{-2} m^3

탐구 18 해 보기 **안개상자를 만들자.**

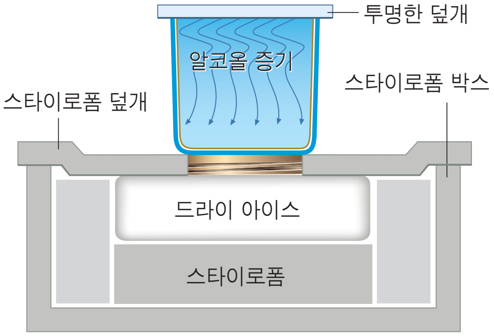
자 료 영국의 윌슨은 구름의 형성 과정을 연구하다 1895년 안개상자를 만들었고, 이것으로 이온화된 입자들의 궤적을 관찰하는 데 이용될 수 있다는 것을 밝힘으로써 1927년 노벨상을 받았다. 그러나 윌슨 안개상자는 교실 수준에서 만들기 쉽지 않으며 단열 팽창에 의해 과포화가 생기는 짧은 시간에만 관찰할 수 있다는 단점이 있다. 여기서는 1936년 랭스도르프가 발명한 확산 안개상자의 원리를 이용하여 우주에서 날아오는 입자나 주변의 방사선 입자의 궤적을 관찰해 보자.

준비물 30 × 25 × 25 cm 유리 수조, 수조의 바닥 면적보다 크고 높이 10 cm 정도의 스타이로폼 박스, 에틸알코올, 드라이아이스, 수조의 바닥 면적 정도의 구리판, 1 cm 두께의 스타이로폼 판넬, 알루미늄 포일, 유리 수조를 덮을 수 있는 유리판, 글루건, 스프레이, 폭 3 cm 두께 3 cm 길이 1 m 정도의 스펀지, 타월

주의 드라이아이스는 맨손으로 만지면 동상 위험이 있으므로 장갑을 끼고 작업을 해야 하며, 에틸알코올은 인화성 물질이기 때문에 불에 가까이하지 않는다.

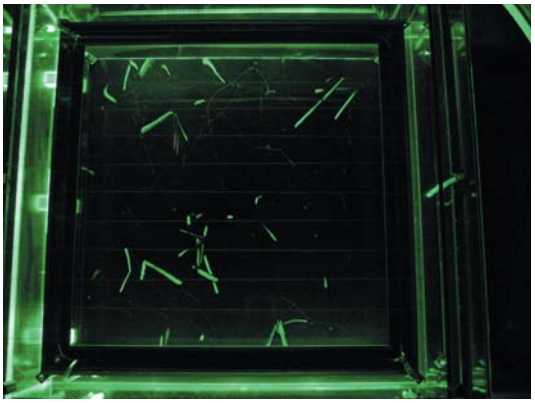
과 정

1. 스타이로폼 박스 안에 드라이아이스를 넣고 구리판으로 덮는다.
2. 바닥에서 높이 10 cm 이상인 유리 수조 안쪽 측면에 스펀지를 글루건으로 한 바퀴 둘러 붙인다.
3. 수조 안에 에틸알코올을 스프레이로 충분히 뿌리고, 스펀지를 에틸 알코올로 충분히 적신다.
4. 수조를 유리판으로 덮고 스타이로폼 박스의 구리판 위에 올려놓는다.
5. 10분 정도 경과한 후 수조 안에서 발생하는 궤적을 관찰한다.



정 리

1. 과포화된 알코올 증기에서 구름 궤적이 생기는 것은 이온화된 입자가 지나가면서 입자에 의해 증기가 응결되기 때문이다. 이 입자가 어디서 왔는지 설명해 보자.
2. 구름 궤적이 진행하는 모습과 나누어지거나 사라지는 경우를 관찰하고 그 까닭을 생각해 보자.



6. 열기관의 열효율

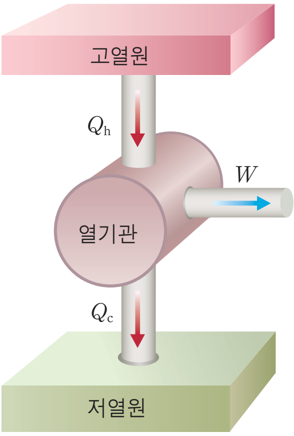


그림 Ⅳ-83 열기관

열기관이란 외부로부터 열에너지를 받아 그중 일부를 다른 형태의 에너지로 전환하는 기관이다. 일반적으로 고온의 에너지원으로부터 열을 받아 역학적 일을 하고 나머지 저온의 열을 외부로 방출하는 방식을 취한다.

열기관이 높은 온도의 열원에서 열에너지 Q_h를 흡수하여 일 W를 하고 낮은 온도의 열에너지 Q_c를 외부로 방출한다. 열기관은 순환 과정을 거치기 때문에 내부 에너지는 변하지 않는다. 열기관이 외부에 한 일은

$$W=Q_h-Q_c$$

가 된다. 열기관은 작동 물질을 통해 반복되는 순환 과정을 거친다. 이를 임의의 순환 과정을 나타내는 $P-V$ 도표로 나타내면 그림 Ⅳ-85와 같다.

열기관의 열효율 e는 높은 온도의 열원에서 흡수한 에너지 Q_h와 한 일 W의 비율로 정의된다.

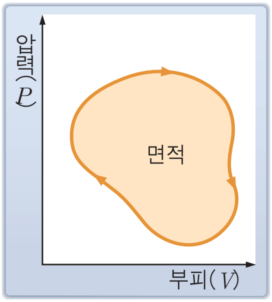


그림 Ⅳ-84 임의의 순환 과정에 대한 $P-V$ 도표

$$e=\frac{W}{Q_h}=\frac{Q_h-Q_c}{Q_h}=1-\frac{Q_c}{Q_h}$$

만일 외부로 열에너지를 하나도 방출하지 않고 Q_h를 모두 일에 썼다면 $Q_c=0$이 되기 때문에 열효율은 1이 된다. 그러나 외부로 열에너지를 방출하지 않고 흡수한 열에너지를 완전히 일로 모두 바꾸는 일은 불가능하다. 이는 외부에 일을 할 때 발생되는 마찰이나 진동에 의한 에너지 손실을 피할 수 없기 때문이며, 손실된 에너지는 궁극적으로 열에너지로 바뀌어 방출된다. 따라서 열효율이 1이 되는 경우는 존재하지 않는다. 이를 위해 고온에서 흡수한 에너지를 가능하면 적게 배출해야 한다.

열기관은 일반적으로 고온에서 에너지를 얻어 저온으로 폐열을 배출한다. 그러나 에어컨이나 냉장고는 저온에서 열에너지를 뽑아 고온으로 방출한다. 이러한 열기관을 **열펌프**라고 한다. 이때는 외부로부터 전기 에너지를 공급받아 일을 해주고 그 일에 의해 열에너지를 이동시키는 것이다.

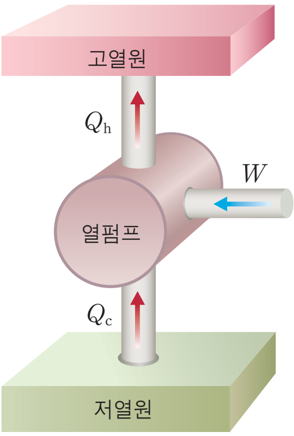


그림 Ⅳ-85 열펌프

열효율 향상의 사회적 의미

우리가 열효율 1인 상태에 도달할 수는 없지만, 열기관의 열효율을 높일 수는 있다. 이것을 다른 말로 한다면 '에너지 절약'이라고 할 수 있다. 어떤 일을 할 때 열효율이 낮은 제품을 사용하면 많은 에너지를 소비할 뿐 아니라 화석 연료의 사용을 증대시켜 탄소 가스 배출이 증가한다. 그러나 같은 일을 할 때 열효율이 높은 제품을 사용하면 에너지 소비 비용도 적게 들며 화석 연료의 사용을 감소시켜 환경 오염도 줄일 수 있다.

우리나라에서는 에너지 효율 향상을 위해 에너지 소비 효율 등급 표시 제도, 고효율 에너지 기자재 인증 제도, 대기 전력 저감 프로그램을 운영하고 있다.

그림 Ⅳ-86과 같이 1992년부터 시작한 에너지 소비 효율 등급 표시 제도는 가전제품, 조명 기기, 자동차 등 24개 품목을 대상으로 1~5등급의 에너지 소비 효율 등급 라벨을 부착하도록 하고, 최저 소비 효율 기준에 미달하는 제품은 생산 및 판매를 금지하도록 하는 제도로서, 이를 모든 제조 업체가 의무적으로 지켜야 한다.

1996년부터 시작된 고효율 에너지 기자재 인증 제도는 일정 기준 이상의 제품에 대해 효율을 인증하는 제도로서, 펌프, 보일러, LED 조명 기기 등 41개 제품에 대해 제조사가 자발적으로 인증 신청을 하도록 되어 있다.



그림 Ⅳ-86 에너지 소비 효율 등급 표시 라벨

1999년부터 시행하고 있는 대기 전력 저감 프로그램은 대기 전력을 줄일 수 있는 절전 제품을 보급하기 위한 제도로서, 컴퓨터, 셋톱박스 등 20개 제품에 대해 의무적으로 실시하고 있다. 정부의 대기 전력 1 W 이하 기준에 만족하는 제품에 대해서는 에너지 절약 마크를 부착할 수 있으며, 기준에 미달하는 제품은 의무적으로 경고 표시를 부착하도록 하고 있다.

에너지 효율성 증대를 위한 우리나라의 이러한 프로그램은 세계적으로 가장 성공적인 사례로 알려져 있다. 냉장고는 가정 전력 소비의 21%를 차지하는 제품으로서, 우리나라 냉장고는 13년 사이에 연간 소비 전력이 60%나 감축됨으로써 세계에서 가장 에너지 효율이 좋은 제품을 사용하는 나라가 되었다.

연구 8. 더운 여름날 방 안의 냉장고 문을 열어 더위를 식히려고 한다. 그러나 냉장고 문을 열어 놓은 부근은 시원해질 수 있으나 방 안 전체의 평균 온도는 더 올라갈 수 있다. 냉장고로 더위를 식히는 것이 왜 불가능한지 앞서 배운 열기관, 열효율, 열역학 법칙들의 용어를 사용하여 설명해 보자. 그리고 에어컨은 어떻게 해서 방 안의 냉방이 가능한지 설명해 보자.

7. 열전달

주변과 온도 차이가 있을 때 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 열에너지의 흐름이 발생한다. 이것을 **열전달**이라고 말한다. 열전달은 에너지 전달의 한 과정이며, 양쪽의 온도가 같아지는 열평형 상태에 이를 때까지 열에너지가 이동한다.

전도

뜨거운 물에 담근 금속 숟가락은 잠시 후 손잡이까지 뜨거움을 느낄 수 있다. 뜨거운 물에 직접 손이 닿지 않았어도 물의 뜨거움은 숟가락을 따라 손잡이까지 전달된 것이다. 숟가락을 구성하고 있는 원자들이 물과 접촉에 의해 열에너지를 전달받아 운동 에너지가 증가하고, 활발해진 원자들은 이웃하는 원자들과 격렬히 충돌하면서 운동 에너지를 전달하게 된다.

이러한 과정으로 열에너지는 원래 가열되었던 곳에서 멀리 떨어진 곳까지 전달된다. 이런 형태의 에너지 전달 방식을 **전도**라고 한다.

탐구 19 해 보기 **열전도**

∘ 준비물 양초를 얇게 입힌 10 cm × 10 cm 금속판, 양초, 집게

∘ 과 정 1. 양초를 얇게 입힌 금속판을 집게로 잡고 수평을 유지하면서 금속판 한쪽 끝을 촛불에 가까이한다.

2. 금속판이 가열될 때 금속판에 바른 양초가 어떻게 녹는지 관찰한다.



∘ 정 리 • 금속판의 한쪽이 가열될 때 시간에 따라 녹는 양초의 면적이 점차 넓어지는 것을 전도의 관점에서 설명해 보자.

탐구 19에서와 같이 열에너지가 금속판을 따라 이동하면서 온도가 올라가는 것을 확인할 수 있었다. 이 과정은 그림 Ⅳ-87의 열전도 모형으로 설명할 수 있다.

표 Ⅳ-9 여러 물질의 열전도율

물질		열전도율 (J/s·m℃)
금속 (25 ℃)	은	427
	구리	397
	금	314
	알루미늄	238
	철	79.5
	스테인레스	63.9
비금속	콘크리트	1.3
	유리	0.84
	파이렉스	1.005
	물	0.60
	석면	0.25
	나무	0.10
기체 (20 ℃)	수소	0.172
	산소	0.024
	공기	0.023

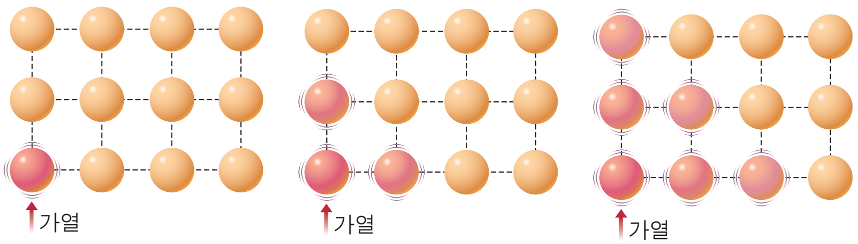


그림 Ⅳ-87 열전도 모형

물질에는 열을 잘 전도하는 물질이 있는 반면, 잘 전달하지 않는 물질이 있다. 이를 각각 열 도체, 열 부도체라고 부른다. 열 부도체의 경우 열에너지를 한쪽에서 다른 쪽으로 잘 전달하지 않기 때문에 흔히 **단열재**라고 부르기도 한다.

일반적으로 전도 현상은 입자들이 이동하지 않는 고체에서 일어나며, 입자들의 이동이 제한된 유체에서도 일어난다. 그러나 표 Ⅳ-9와 같이 유체의 경우 전도의 입장에서는 단열재에 해당하는 것이 대부분이기 때문에 유체에서 열에너지는 전도가 아닌 다른 방식으로 전달된다.

연구 9. 일반 유리에 열을 가하면 깨진다. 그러나 주방에서 사용하는 파이렉스 유리는 가스 불에 올려놓아도 깨지지 않는다. 열을 가할 때 유리가 깨지는 까닭을 표 Ⅳ-9를 이용하여 열팽창과 열전도의 관점에서 금속과 비교하여 설명하고, 파이렉스 유리가 깨지지 않는 까닭을 설명해 보자.

대류

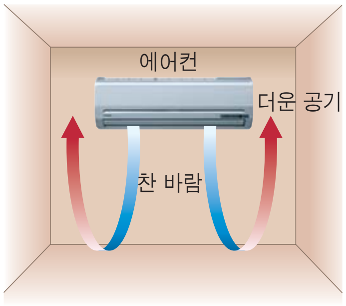
대류는 입자의 이동이 자유로운 유체에서 일어난다. 추운 겨울날 장작불 위에 손을 가까이 하면 따스함을 느낄 수 있다. 그 따스함은 장작불에 의해 데워진 공기가 위로 상승하면서 손을 데우기 때문이다.

열에너지를 받은 유체는 열팽창을 하게 되고 열팽창에 의해 밀도가 감소한 유체는 주변의 낮은 온도의 유체로부터 부력을 받는다. 그림 Ⅳ-88의 (가)와 같이 밀도 차이에 의해 일어나는 대류 현상을 **자연 대류**라고 하며, 팬이나 펌프에 의해 강제로 유체를 이동함으로써 열에너지 전달을 하는 것을 **강제 대류**라고 한다. 예를 들어 그림 (나)와 같이 가정에서 냉방을 하거나 자동차에서 엔진의 열을 식히기 위해 강제 대류를 이용한다.

지구 상에서 밀도 차이에 의해 발생된 부력이 작용하는 자연 대류의 근본 까닭은 중력에 있다. 이에 대한 좋은 예가 그림 Ⅳ-89와 같이 NASA가 우주선에서 했던 촛불 실험이다. 지구에서 촛불의 뜨거운 불꽃은 대류하면서 위로 향하지만, 중력이 거의 작용하지 않는 우주선에서는 대류가 일어나지 않기 때문에 불꽃이 모든 방향으로 향하게 된다. 대류에 의한 산소 공급이 이루어지지 않기 때문에 불꽃은 전체적으로 낮은 온도를 유지하며 푸른색을 띤다.



(가) 자연 대류에 의해 난방을 하고 있다.

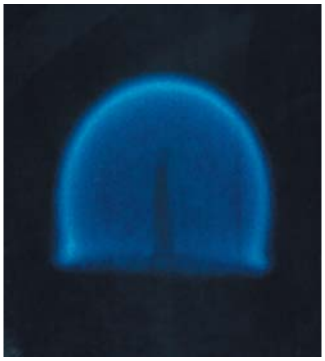


(나) 자연 대류와 강제 대류를 동시에 이용하여 냉방을 하고 있다.

그림 Ⅳ-88 자연 대류와 강제 대류



(가) 지구



(나) 우주선

그림 Ⅳ-89 중력이 작용하는 지구 위와 중력이 거의 작용하지 않는 우주선 안에서의 촛불 모양

탐구 20 실험 액체에서의 대류와 전도

∘ 준비물 알코올 램프, 시험관, 반짝이 가루, 시험관 집게, 작은 얼음 조각, 쇠못을 넣고 얼린 얼음 조각, 스탠드, 초시계

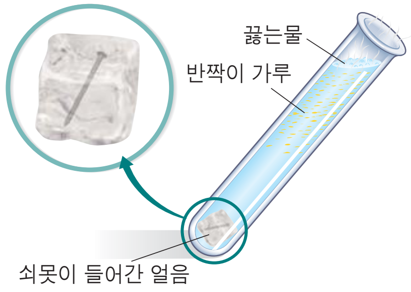
∘ 과 정 시험관 아래를 가열할 때

1. 시험관에 물을 $\frac{3}{4}$ 정도 넣고 반짝이 가루를 조금 넣는다.
2. 시험관을 스탠드에 비스듬히 시험관에 얼음을 넣은 다음, 알코올 램프로 가열한다.
3. 얼음이 모두 녹을 때까지 시간을 측정한다.
4. 반짝이 가루가 어떻게 움직이는지 관찰한다.



시험관 위를 가열할 때

5. 같은 방법으로 시험관에 물과 반짝이 가루를 넣고 스탠드에 설치한다.
6. 쇠못을 넣고 얼린 얼음을 시험관에 넣어 얼음이 가라앉도록 한다.
7. 시험관의 수면 부분을 알코올 램프를 이용하여 가열한다.
8. 시험관의 얼음이 녹는 과정을 관찰하며 시간을 측정한다.
9. 반짝이 가루가 어떻게 움직이는지 관찰한다.



∘ 정 리 • 물에서 대류와 전도에 의해 열에너지가 전달될 때 차이점을 설명해 보자.

복사

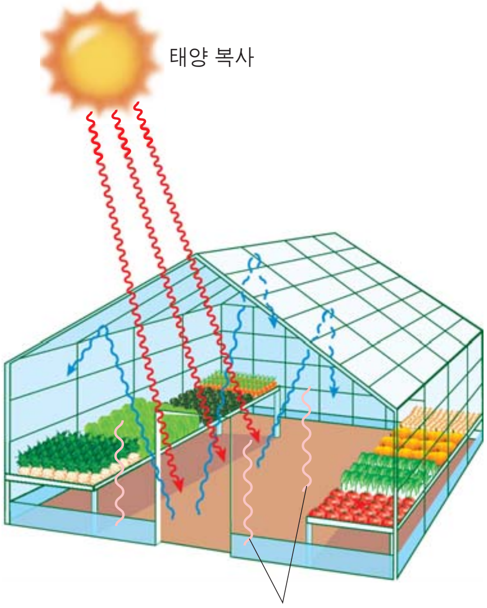
전도와 대류는 입자들 사이의 접촉에 의해 에너지 교환이 이루어지기 때문에 열에너지를 전달하는 매질이 있어야 한다. 그러나 그림 Ⅳ-90의 (가)와 같이 빨갛게 가열된 금속은 직접 접촉하거나 공기를 데우지 않아도 우리에게 따스함을 전달해 준다. 그것은 물질을 구성하고 있는 원자들이 매우 높은 열에너지의 상태에 있을 때 활발한 원자핵의 진동이 가시광선과 적외선에 해당하는 전자기파의 형태로 에너지를 방출하기 때문이다.

그림 (나)에서 태양에서 지구로 에너지가 전달될 수 있는 것은 이와 같은 복사에 의한 것이다.

그림 (다)는 복사를 이용한 전기히터로 대류를 이용하여 난방하는 히터와는 달리 빛을 받고 있는 부분에서만 따스함을 느낄 수 있다.



(가) 뜨겁게 가열된 쇠에서 나오는 빛



(나) 복사의 형태로 우주를 지나 지구에 도달한 태양에의 빛에너지는 온실의 유리벽을 통과하여 식물이 광합성을 할 수 있게 한다.



(다) 복사를 이용한 전기히터

그림 Ⅳ-90 여러 가지 복사의 예

물음 6. 비상 구급용 장비 중에는 오른쪽 그림과 같이 사람의 몸을 덮을 수 있는 크기의 은박지로 된 비닐이 있다. 어떤 경우에 이것을 사용하는지 열전달 방법의 용어로 설명하라.



8. 비열과 열용량

물질에서는 주변과 열에너지 교환이 있을 때 일반적으로 온도의 변화가 일어난다. 물질의 온도 변화는 같은 양의 열에너지를 교환했다고 하더라도 물질들마다 서로 다르다.

어떤 물질 1 kg을 1 K 올리는 데 필요한 열에너지를 비열이라고 한다. 이 정의에 따른다면 열에너지 Q가 질량 m인 물체에 전달되어 온도가 $\varDelta T$만큼 변했을 때 물질의 비열은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$c = \frac{Q}{m\varDelta T}$$

이때 단위는 J/kg·K이다. 비열은 물질마다 고유한 값 중 하나로서 표 Ⅳ-10에 그 예를 보였다.

표 Ⅳ-10 여러 가지 물질의 비열

물질	비열(J/kg·℃)
알루미늄	900
구리	378
금	129
철	448
스테인레스	502.1
유리	837
얼음	2090
수증기	2010
물	4186

비열의 단위와 칼로리(calorie)

1 K의 크기는 1 ℃의 크기와 같게 정의되었기 때문에 비열의 단위를 J/kg·℃로 표기하기도 한다. 또 비열은 칼로리를 단위로 하는 kcal/kg·℃로 나타내기도 한다. 1824년 프랑스 과학자 니콜라 클레멩(Nicolars Clément)이 도입한 칼로리는 1843년 줄(Joule)이 역학적 일과 열 사이의 관계를 밝혀낸 이후, 현재 1 cal는 4.186 J과 동등한 에너지로 취급된다. 식품에 표기하는 Cal는 kcal를 의미한다.

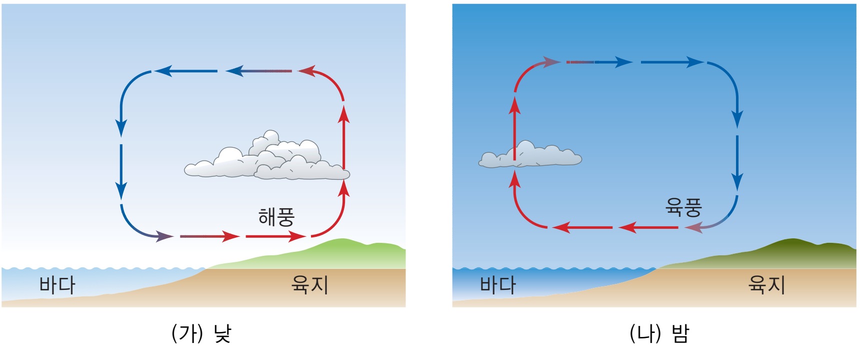


그림 Ⅳ-91 해풍과 육풍

물은 다른 물질들에 비해 비열이 가장 크다. 이것은 물을 1℃ 올리는 데 필요한 열에너지가 같은 질량의 다른 물질을 1℃ 올리는 데 필요한 열에너지보다 훨씬 더 크다는 의미가 된다. 물의 비열이 크기 때문에 바닷가는 육지에 비해 겨울에 춥지 않고 여름에 덥지 않다. 반면 육지는 비열이 상대적으로 작아서 물보다 빨리 식고 빨리 데워진다. 육지와 바다 사이의 비열 차이는 해변에서 공기 흐름을 결정한다. 즉 낮에는 태양으로부터 받는 열에너지에 의해 육지는 빨리 데워지지만, 바다는 동일한 양의 에너지를 받아도 온도가 육지만큼 상승하지 않는다. 따라서 육지에서는 더워진 공기에 의해 상승 기류가 생기고 바다에서는 하강 기류가 생기게 된다. 따라서 그림 Ⅳ-91과 같이 낮에는 바다에서 육지로 바람이 불게 된다. 밤에는 이와 반대의 현상이 일어나서 육지에서 바다로 바람이 불게 된다.

연구 10. 스테인레스가 주방 용기로 사용될 수 있는 장점을 표 Ⅳ-9와 Ⅳ-10의 열적 특성으로 설명해 보자.

예제 19

10℃의 철, 유리, 물이 각각 1.00 kg이 있다. 이들이 20.0 ℃로 되기 위해 필요한 에너지를 각각 구하라.

해설 | 식 $Q=mc\Delta T$로부터 각각의 비열 $c_{철}=448$ J/kg·℃, $c_{유리}=837$ J/kg·℃, $c_{물}=4186$ J/kg·℃를 이용한다.

$Q_{철}=1.00\text{ kg}\times10.0℃\times448\text{ J/kg}\cdot℃=4.48\times10^3\text{ J}$

$Q_{유리}=1.00\text{ kg}\times10.0℃\times837\text{ J/kg}\cdot℃=8.37\times10^3\text{ J}$

$Q_{물}=1.00\text{ kg}\times10.0℃\times4186\text{ J/kg}\cdot℃=4.19\times10^4\text{ J}$

답 철 4.48×10^3 J, 유리 8.37×10^3 J, 물 4.19×10^4 J

어떤 물체의 온도를 1℃ 올리는 데 필요한 열량은 그 물체의 질량과 비열의 곱에 비례하는데 이를 **열용량**이라고 한다.

어떤 물질에 Q의 열에너지를 가하여 온도가 ΔT만큼 올라갔다면 그 물체의 열용량 C는

$$C=\frac{Q}{\Delta T}=mc$$

로 나타낼 수 있다. 이때 열용량의 단위는 J/K 또는 J/℃이다.

예제 20

비열이 900 J/kg·℃인 알루미늄 그릇의 질량은 2.00 kg이다. 단, 물의 비열은 4200 J/kg·℃이다.

(1) 그릇의 열용량은 얼마인가?

(2) 여기에 물 3.00 kg을 붓고 온도를 20.0℃에서 80.0℃로 가열하였다. 이때 가한 열에너지는 얼마인가?

해설 | (1) $C=\frac{Q}{\Delta T}=mc$에서 2 kg × 900 J/kg·℃ = 1800 J/℃

(2) 그릇의 열용량은 1800 J/℃이고, 물의 열용량은 3 kg × 4200 J/kg·℃ = 12,600 J/℃이다. 따라서 물과 그릇의 열용량은 모두 14,400 J/℃이다. 그러므로 60℃ 올릴 때 필요한 열에너지는 14,400 J/℃ × 60℃ = 864,000 J이 된다.

답 (1) 1800 J/℃ (2) 8.64×10^5 J

9. 물질의 상태 변화

이제까지는 외부와 에너지 교환에 의해 물체의 온도가 변하는 것을 설명하였다. 그러나 에너지 교환에도 불구하고 온도 변화가 일어나지 않고 물질의 물리적 특성이 변하는 경우가 있다. 이것을 물질의 **상태 변화**라고 한다. 상태 변화에는 물질의 세 가지 상태인 고체, 액체, 기체 사이의 상태 변화에서 볼 수 있다. 상태 변화 과정에는 내부 에너지의 변화가 따르지만 온도의 변화는 없다.

질량 m을 가진 순수한 물질의 상태 변화에 필요한 에너지 Q는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q=mL$$

이때 L은 단위 질량당 상태 변화에 필요한 에너지로서 **잠열** 또는 **숨은열**이라고 하며, 단위는 J/kg이다. 즉, 물질과 외부 사이에서 교환된 에너지가 물질의 온도를 변화시키는데 사용되지 않고 물질의 상태를 변화시키는 데 사용되었다.

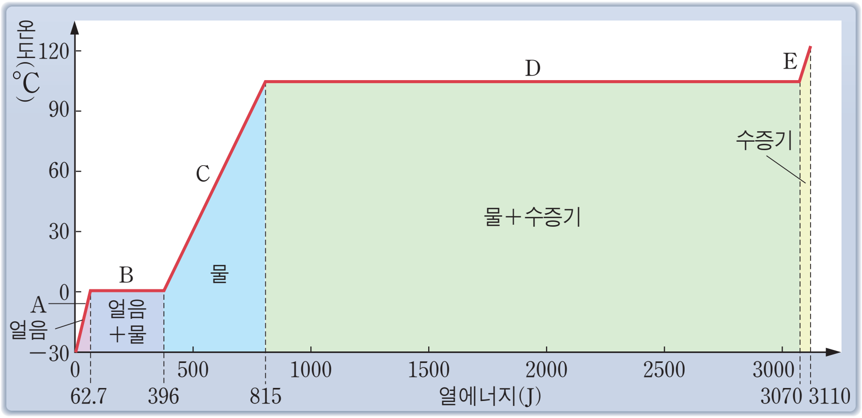


그림 Ⅳ-92 얼음 1 g을 −30℃에서부터 가열할 때 소요되는 에너지와 온도 변화

그림 Ⅳ-92와 같이 0℃의 얼음이 녹을 때 온도는 변하지 않고 0℃의 물로 된다. 이때 외부에서 전달받은 에너지는 얼음에서 물로 바뀌는 상태 변화에 사용된다. 숨은열은 물질들마다 다르며, 상태 변화의 종류에 따라 다르다. 예를 들어 얼음이 물로 될 때는 얼음 1 kg당 3.33×10^5 J의 에너지를 받아야 한다. 그 반대로 물에서 얼음으로 될 경우에는 물이 그만큼의 에너지를 내놓아야 한다. 이것을 물의 **융해열**이라고 한다. 물이 끓어 액체에서 기체로 되는데 필요한 기화열은 2.26×10^6 J/kg이다. 물이 액체에서 기체로 되는데 필요한 기화열은 반드시 끓음을 통해서 수증기가 되는 과정만을 의미하는 것이 아니라, 증발에 의한 기화에도 필요한 에너지이다.

물의 숨은열은 우리 지구 환경에서 특별한 가치를 지니고 있다.

우선 첫째로 지구에는 대단히 많은 양의 물이 있다는 점이다.

둘째로 지구의 기온 범위는 물의 세 가지 상태 변화를 모두 경험할 수 있게 해 준다는 것이다.

셋째로 물의 잠열은 대단히 커서 상태 변화를 할 때 많은 에너지를 흡수하거나 내놓을 수 있다는 점이다.

넷째로 물의 비열은 지구 상의 물질 중에 가장 큰 값을 가진다. 즉 지구 표면의 70 %를 차지하고 있는 물은 엄청난 에너지를 흡수하거나 내놓을 수 있는 능력을 가졌기 때문에 급격한 기온 변화에 대한 완충 역할을 할 수 있는 장점도 있지만, 그 역할을 제대로 하지 못할 때 기상의 변화는 대규모의 재앙을 만들 수 있다.

물은 1 kg당 2.26×10^6 J의 기화열을 가지고 있다. 즉, 1 kg의 물이 기체로 변하는 데 필요한 에너지는 중력 가속도를 대략 10 m/s^{2}이라고 가정할 때 226톤의 물체를 1 m 들어 올리는 데 필요한 역학적 에너지와 같다. 이것은 반대로 수증기가 액체로 변할 때 동일한 양의 에너지를 내놓는다는 것을 의미한다.

따라서 만일 바다에서 매일 증발되는 엄청난 규모의 수증기가 흡수한 에너지를 태풍이라는 형태로 짧은 시간에 물로 바뀌면서 내놓을 때 그것이 지닌 파괴력은 우리

의 상상을 넘어선다. 그림 Ⅳ-93은 태풍에 의한 피해를 나타낸 것이다.

그뿐만 아니라 온실 가스의 영향으로 지구 환경의 온도가 점차 올라가고 있다. 전체 바닷물의 온도가 1℃ 올라갈 때 kg당 약 4200 J의 에너지를 흡수하며, 이것은 420 kg의 물체를 1 m 들어 올리는 데 필요한 역학적 에너지와 같다. 이렇듯 지구 상의 물은 에너지의 저수지와 같은 역할을 하고 있어서 급격한 온도 변화를 잘 막아 주고 있지만, 오늘날 인류의 무분별한 환경 파괴에 의해 그 능력의 한계를 자주 드러내고 있다.

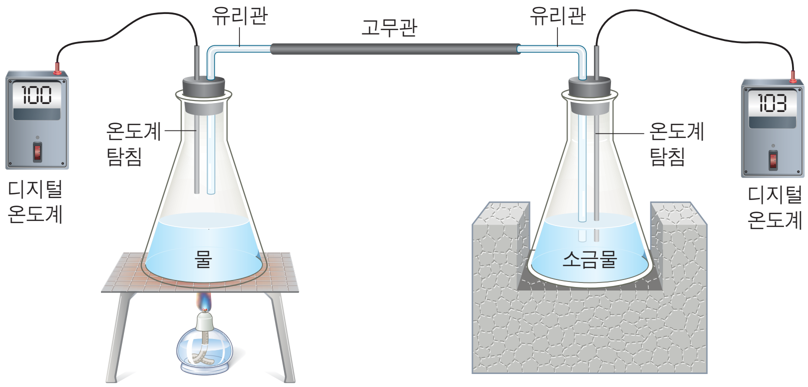


그림 Ⅳ-93 태풍 매미에 의한 낙동강 물의 범람(2003년)

탐구 21 **창의 활동** **100℃ 끓는 물의 수증기로 소금물을 100℃ 이상 높일 수 있을까?**

- **준비물** 소금, 삼각 플라스크 2개, 유리관, 고무관 30~40 cm 정도, 알코올램프, 디지털 온도계 2개

- **과 정**
  1. 200 mL의 물을 담은 플라스크에 유리관을 꽂고 고무관으로 연결한다.
  2. 포화 용액 소금물 200 mL를 담은 플라스크에 유리관을 꽂고, 물이 있는 플라스크와 연결한다. 이때 물을 담은 플라스크의 유리관은 수면보다 높아야 하고, 소금물을 담은 플라스크의 유리관은 소금물 수면 아래까지 내려가야 한다. 또한 디지털 온도계의 탐침을 각 유리관 높이에 설치한다.
  4. 물을 알코올램프로 가열하여 끓이면서, 수증기의 온도를 측정한다.
  5. 가열된 수증기가 소금물을 가열할 때 소금물의 온도를 측정한다.



- **정 리** • 대기압에 노출된 상태에서 끓는 물로부터 나온 수증기는 100 ℃를 넘지 않는다. 따라서 100 ℃의 수증기로 소금물을 100 ℃가 넘게 덥힐 수 있다는 것은 모순처럼 보인다. 어떻게 이 수증기가 소금물을 100 ℃보다 높게 가열할 수 있는지 잠열의 개념을 이용하여 설명해 보자.



4 생활과 전기 기구

학습 목표

1. 전기 기구가 작동하는 과정은 에너지 전환의 과정임을 안다.
2. 전동기의 원리와 전기 자동차에 대해 알아본다.
3. 전기 기구의 에너지 소비를 계산할 수 있다.

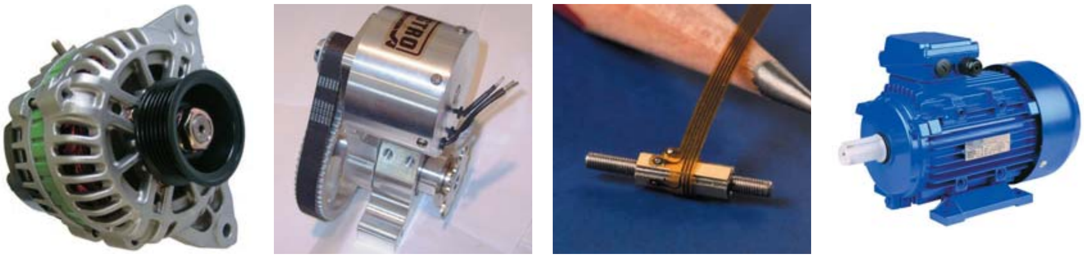
전기는 다른 에너지에 비해 인간이 편리하게 사용할 수 있는 여러 장점이 있다. 전기는 필요에 따라 열에너지나 빛에너지, 전자기파, 역학적 에너지, 화학적 퍼텐셜 에너지 등 다른 에너지로 쉽게 전환될 수 있다. 그리고 반도체와 같은 소자들을 이용하면 에너지를 대단히 효율성 있게 활용하면서 아주 작고 정밀하게 기능하는 장치를 작동시킬 수 있다. 또한 공간을 많이 차지하는 연료를 운송하지 않고도 두 가닥의 선만으로 에너지 수송을 간단히 해결할 수 있다. 전기는 청결한 에너지로서 오염 물질의 배출 때문에 환경 문제도 일으키지 않는다. 더욱이 전기 에너지는 정보화 기술에 기반이 되는데 어느 에너지에 비할 수 없는 탁월한 장점을 지니고 있다.

전기 에너지는 일차 에너지원과 인간이 필요로 하는 최종적인 에너지 형태 사이를 연결하는 중간 과정의 에너지로 사용되고 있으며, 특성상 전기 에너지는 그러한 역할을 하는데 좋은 장점을 지니고 있다. 이제 간단한 전기 기구를 통하여 작동되는 원리와 생활 속에서의 이용을 알아보기로 하자.

1. 전동기

그림 Ⅳ-94와 같이 전동기는 전기 에너지를 역학적 에너지로 바꾸는 장치로서, 앞으로 인간이 필요로 하는 역학적 운동의 대부분은 전기 에너지를 이용한 전동기로부터 얻어지게 될 것이다.

이제 간단하면서도 다양한 형태의 전동기를 만들어 봄으로써 여기에 적용된 전자기 법칙을 이용하여 전동기의 작동 원리를 이해해 보자. 또 이를 통해 전기 에너지를 역학적 에너지로 바꾸는 방식에는 여러 가지가 있으며, 이것이 실생활에서 적용된 사례를 찾아보기로 하자.



(가) 자동차 시동 전동기 (나) 전기 자전거용 전동기 (다) 초소형 전동기 (라) 교류 전동기

그림 Ⅳ-94 여러 가지 전동기

그림 Ⅳ-95와 같이 코일에 전류가 흐르면 코일에 자기장이 생기며, 이것은 자석의 극과 상호 작용한다. 회전자에 감은 코일은 자석과 상호 작용에 의해 밀고 당기는 힘이 발생하고 이 힘은 회전자에 돌림힘으로 작용한다. 그러나 코일이 회전하여 코일과 자석이 서로 다른 극으로 마주 보게 되면 돌림힘의 평형에 의해 코일은 더 이상 회전을 하지 않게 된다. 이때 코일과 자석이 같은 극이 되도록 코일의 전류 방향을 바꾸어주면 돌림힘이 작용하여 계속 회전할 수 있게 된다. 따라서 코일이 반 바퀴 돌 때마다 코일에 전류 방향을 바꾸어 줄 필요가 있다. 이런 역할을 하는 것을 **정류자**라 하고, 정류자와 접촉하는 단자를 **브러시**라고 한다.

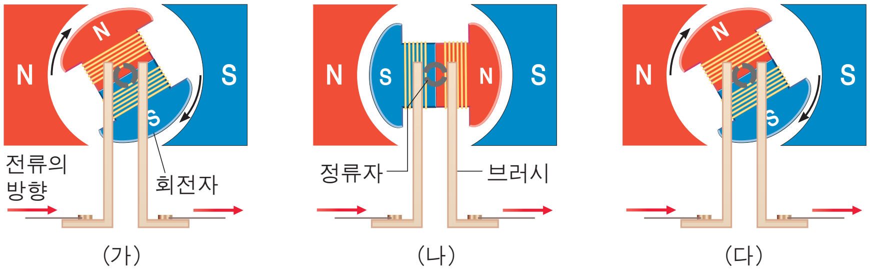


그림 Ⅳ-95 브러시와 정류자의 역할

탐구 22 관찰 **꼬마 전동기를 분해해 보자.**

- **준비물** 꼬마 전동기, 라디오 펜치
- **과 정** 1. 라디오 펜치로 꼬마 전동기 뒷부분의 조임쇠를 푼다.
  2. 전동기의 부품들을 관찰한다.


꼬마전동기


몸체와 자석


회전자와 브러시


회전자와 정류자


브러시

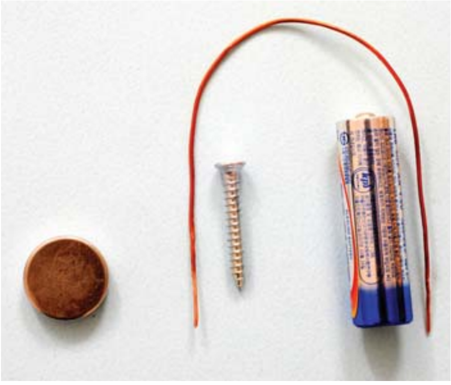
- **정 리** 1. 회전자의 극은 몇 개로 되어 있는가?
  2. 회전자가 회전할 때 브러시와 정류자가 어떻게 코일에 흐르는 전류의 방향을 바꾸는지 설명해 보자.

탐구 23 창의 활동 **신기한 전동기 만들기**

준비물 네오디뮴 자석, 전선, 건전지, 나사못

과 정
1. 자석에 나사못을 붙이고 건전지 (−)극에 붙인다.
2. 전선으로 (+)극과 자석을 연결한다.
3. 나사못이 잘 회전할 수 있도록 전선이 자석에 잘 접촉되도록 한다.
4. 구리선을 여러 가지 모양으로 구부려 회전시켜 본다.
5. 전동기를 이용하여 움직이는 모빌이나 빨리 달릴 수 있는 자동차를 창의적으로 고안해 보자.





정 리
1. 자석의 한 극으로 전동기가 어떻게 작동될 수 있는지 자석의 자기장과 전선의 전류 사이에 작용하는 힘으로 설명하여 보자.
2. 회전 속도에 영향을 주는 요인에는 어떤 것들이 있는지 설명하여 보자.
3. 여러분이 만든 전동기가 장난감에 사용하는 꼬마 전동기와 어떻게 다른지 설명하여 보자.

2. 전기차

환경오염과 화석 연료 고갈에 대한 대안으로 전기차가 활발히 개발되고 있다. 그러나 전지에서 낼 수 있는 에너지는 같은 부피의 화석 연료 에너지보다 적고, 전동기가 낼 수 있는 돌림힘도 같은 크기의 내연 기관이 낼 수 있는 돌림힘보다 적으며, 전지 비용도 매우 비싸서 전기차는 아직까지 대중화되지 못하고 있다. 현재의 전기차는 크게 세 가지로 구분될 수 있다.

하이브리드 형

전지와 전동기 기술의 한계로 기존의 내연 기관 엔진과 전동기를 동시에, 또는 번갈아 사용하는 방식이다. 배출 가스 절감 효과가 있고 연료 소모가 적다는 장점이 있다. 현재 전기차의 대부분은 하이브리드 형으로서 보급이 확대되고 있다. 내연 기관의 연료로는 가솔린, 경유, LPG, 수소, 에탄올 등을 사용하고 있으나, 가솔린 엔진이나 디젤 엔진을 사용하는 하이브리드 차가 대중화되어 있다.

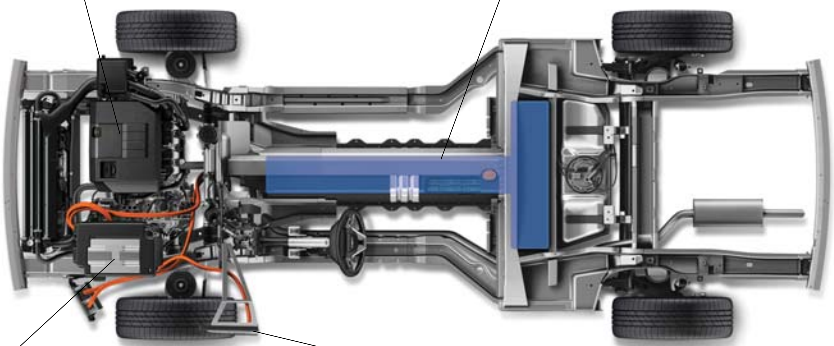


그림 Ⅳ-96 하이브리드 자동차의 구조



그림 Ⅳ-97 연료 전지 자동차 구성



그림 Ⅳ-98 충전형 전기 자동차

연료 전지 형

수소 연료 전지에서 발생하는 전기로 주행한다. 배출 가스는 없으나 수소 충전소가 많지 않고 자동차 내에 수소를 대량으로 저장하는 기술이 부족하다. 따라서 일부 연료 전지 자동차에서는 수소를 연료로 하는 내연 기관 엔진을 같이 사용하는 하이브리드 형도 있다.

충전 형

외부로부터 전지를 충전하고 전동기로 구동한다. 전기 충전은 전기 충전소나 가정의 전기를 사용한다. 아직까지는 충전하는 데 시간이 매우 많이 걸리며, 한 번 충전하여 달릴 수 있는 거리도 짧지만, 앞으로 널리 보급될 전망이다.

연구 11. 전기 자동차가 보급되는 데 가장 큰 기술적 어려움이 무엇인지 생각해 보자. 또 그 기술은 어느 수준까지 왔는지 알아보자.

표 Ⅳ-11 전기 자동차의 종류와 특징

유형	에너지	주요 구성부	에너지 보급	사례	
하이브리드 형	석유(가솔린, 경유, 가스) 전기	연료 탱크 내연 기관 전동기 전지	주유소 및 가스 충전소		연료로 가솔린이나 LPG를 사용하며, 엔진에 의해 리튬 이온 폴리머 전지를 충전한다.
			• 주유소 • 전기 충전소 또는 가정		연료로 가솔린을 사용하며, 엔진에 의해 충전하거나 가정에서 충전할 수 있다. (Plug-in형)
연료 전지 형	수소	수소 저장 탱크 연료 전지 전동기 전지	충전소에서 수소 주입		100 kW급 연료 전지를 탑재하였으며, 현재 미국에서 시험 운행 중이다.
충전 형	전기	전동기 전지	전기 충전소 또는 가정에서 충전		한번 충전하여 140 km를 주행하고 최고 속력 130 km/h까지 가능하다. 급속 충전을 하면 25분 걸린다.

3. 조명 기구

인류가 불을 사용하기 시작한 이래 어둠을 극복하고 하루의 생활 시간을 야간까지 연장할 수 있었다. 특히 에디슨에 의해 탄소 필라멘트 전구가 발명되면서 시작된 조명 기구의 발달은 밤에도 대낮과 같은 생활을 가능하게 만들었다.

오늘날 가정에서 지출하는 전기 에너지 비용의 25% 정도가 조명에 소비되고 있다. 만일 전 세계적으로 조명에 소비되는 에너지를 1%라도 줄일 수 있다면 화석 연료에 의한 이산화탄소 배출이나 환경 오염, 대규모 발전소 건설을 줄이는 데 기여할 수 있을 것이다

현재 가정에 많이 보급되어 있는 조명 기구는 형광등이다. 형광등은 백열전구에 비해 에너지 효율이 좋고 수명이 길다는 장점을 가지고 있다.

형광등은 같은 밝기의 백열전구에 비해 에너지를 25~35 %밖에 소모하지 않으며, 수명은 10배나 더 길다. 또한 최근 십여 년 사이 백열전구 소켓에 끼워 사용할 수 있는 소형 형광등(CFL)이 대량 생산되면서 저렴한 가격으로 에너지를 절약할 수 있어서 백열전구를 급격히 대체해 왔다.

2005년부터 세계 각국에서는 백열전구를 형광등과 LED 전등으로 완전히 교체하기 위해 단계적으로 판매 금지하는 법안을 통과시켰으며, 2020년까지는 대부분의 국가에서 백열전구의 일반 판매가 완전히 금지될 전망이다.

백열전구는 필라멘트가 가열될 때 방출되는 빛을 이용한 것이다. 필라멘트는 텅스텐이 주성분으로서 전류가 흐를 때 저항에 의해 2000°C 이상으로 가열된다. 이 과정에서 전기 에너지의 대부분은 열과 적외선으로 소비되고, 우리에게 필요한 가시광선에는 5～10%밖에 사용되지 않는다.

형광등 안에는 수은 증기와 아르곤(Ar)이나 크립톤(Kr), 제논(Xe)과 같은 비활성 기체가 10^{-3} 기압 정도의 낮은 압력으로 채워져 있다. 형광등 안쪽 유리 면에는 바륨(Ba)이나 스트론튬(Sr), 칼슘(Ca) 등의 형광 물질이 입혀져 있다.

형광등 양쪽에 있는 전극의 필라멘트가 가열되면, 양쪽 필라멘트에서 열전자가 방출된다. 이 전자는 유리관 내에 있는 수은 원자와 충돌하면서 자신의 운동 에너지 일부를 수은 원자에 전달한다. 이때 에너지를 전달받은 수은 원자의 외곽 전자가 들뜨면서 높은 에너지 상태로 전이하고 다시 원래의 낮은 상태로 내려오면서 그 차이에 해당하는 에너지를 빛으로 방출한다.

백열전구 퇴치 운동

1879년 에디슨이 탄소 전구를 발명한 이래 인류의 밤을 밝혀주었던 백열전구는 에너지 비효율성 때문에 세계 각국에서 퇴출되어 에너지 절약형인 형광등과 LED 전등으로 교체된다. EU는 2009년부터 일부 백열전구부터 판매 금지를 시작했고, 캐나다는 2012년까지, 미국은 2012~14년 사이에 모든 백열전구의 판매가 금지된다. 우리나라는 2013년까지 퇴출하기로 하였고, 이미 공공기관 조명등의 99 %를 절전형 전등으로 교체하였다.

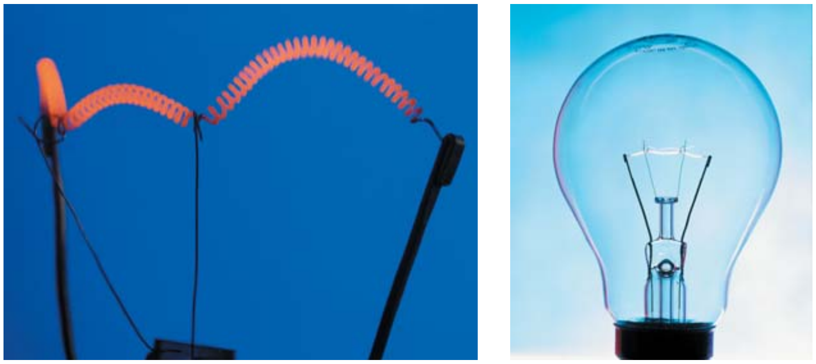


그림 Ⅳ-99 백열전구의 구조

표 Ⅳ-12 빛으로 방출한 에너지 비율

조명등	가시광선
백열전구	5～10%
형광등	21%
LED	20～30%



그림 Ⅳ-100 여러 종류의 CFL

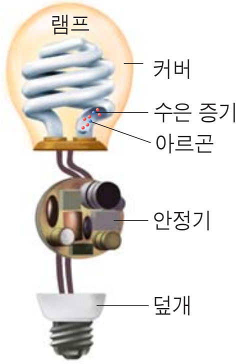


그림 Ⅳ-101 CFL의 구조

소형 형광등(Compact Fluorescent Light bulb)

'절전형 전구', 또는 '컴팩트형 형광등'이라고도 부른다. 기존 형광등과 원리는 같다. 유리관을 감거나 꺾어 방전관의 길이를 유지하면서 전체적으로 길이와 크기를 줄였으며, 점등에 필요한 장치와 회로를 내장하였다. CFL은 높은 에너지 효율을 가지고 있으면서 백열전구용 소켓에 사용할 수 있기 때문에 백열전구 자리를 급속히 대체하여 왔다.



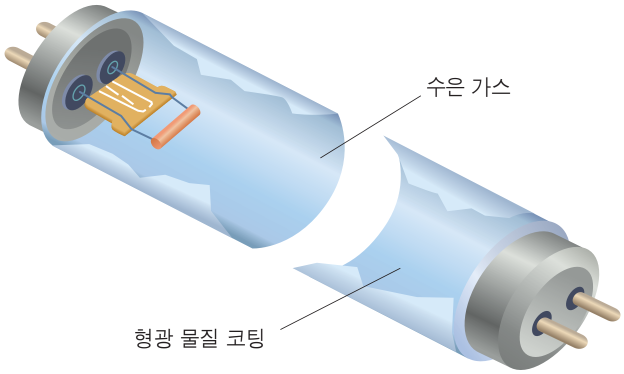


그림 Ⅳ-102 형광등에서 열전자를 방출하는 역할을 하는 필라멘트

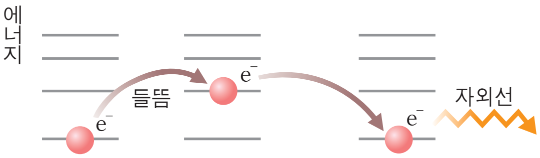


그림 Ⅳ-103 형광등에서 빛이 방출되는 과정

여기서 방출되는 빛은 185 nm와 253.7 nm의 자외선으로서 유리관 안쪽에 입혀진 형광 물질과 충돌하여 가시광선의 빛을 내놓는다. 가정에서 사용하는 전압으로는 형광등 전극에서 방전이 일어나지 않기 때문에 처음 전원을 켤 때 점등관과 안정기에 의해 양쪽 전극에 순간적으로 높은 전압으로 걸어주어 방전을 유도한다.

그동안 많이 사용했던 긴 직관형 형광등이나 원형 형광등은 소켓의 모양이 달라 백열전구를 대체하기 어려웠으나 최근 십수 년 사이 백열전구의 소켓에 사용할 수 있는 소형 형광등(CFL)이 개발되어 많이 보급되었다. CFL은 일반 직관형이나 원형 형광등보다 에너지 효율이 낮은 편이지만 백열전구에 비해 월등히 높고 여러 장점 때문에 LED와 함께 백열전구를 대체할 것이다.

그러나 형광등과 CFL은 높은 에너지 효율과 긴 수명에도 불구하고 몇 가지 단점을 가지고 있다.

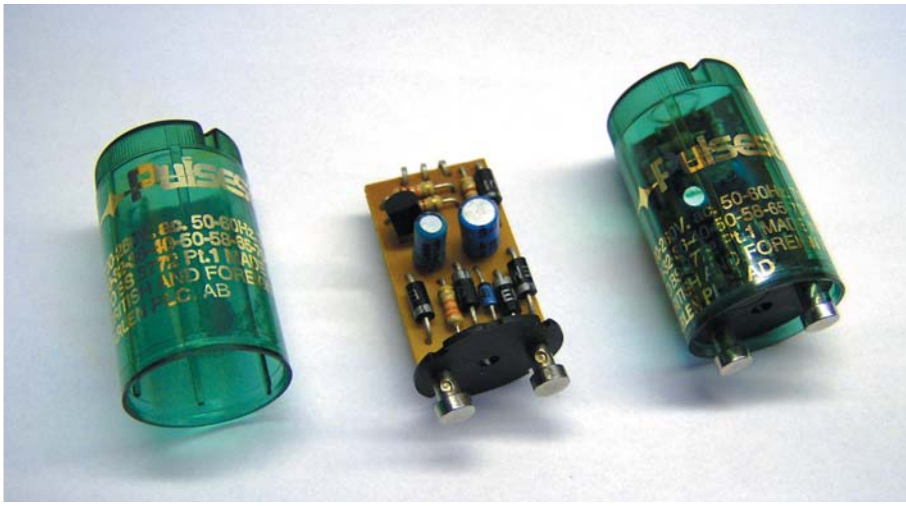


그림 Ⅳ-104 점등관의 구조

첫째로 유리관 내부에 수은 증기를 사용한다는 점이다. CFL 하나에는 수은 4 mg 정도가 포함되어 있으며, 최근 기술의 발전으로 수은 함유량을 절반 정도까지 낮춘 것도 있으나 CFL 외부로 수은 증기가 빠져나올 경우 그에 따른 오염은 불가피하다.

둘째로 자외선이 형광등 외부로 유출되는 것을 완벽하게 막기 어렵기 때문에 자외선에 민감한 예술 작품이나 시력에 영향을 줄 수 있다.

셋째로 유리를 사용하기 때문에 외부 충격에 약하며 깨지는 경우 유리에 다칠 위험이 있다.

예제 21

화장실에서 사용하던 75 W 전구 2개와 다용도실의 100 W 전구 하나를 각각 CFL 25 W 2개와 30 W 하나로 바꾸었다. 화장실 전구는 하루에 평균 1시간 사용하고, 다용도실은 15분 사용한다. 한 달(30일) 후 절약되는 전기 에너지는 몇 kWh인가?

해설 | (1) 전구: 하루에 75 W × 2개 × 1시간 + 100 W × 1개 × 0.25시간 = 175 Wh
한 달에는 175 Wh × 30일 = 5.25 kWh
(2) CFL: 하루에 25 W × 2개 × 1시간 + 30 W × 1개 × 0.25시간 = 57.5 Wh
한 달에는 57.5 Wh × 30일 = 1.725 kWh
따라서 절약되는 전기 에너지는 (5.25 − 1.725) kWh = 3.525 kWh이다.

답 3.525 kWh

최근 빠르게 확산되고 있는 LED 조명은 백열전구, 형광등, CFL에 비해 많은 장점을 가지고 있어서 '21세기의 조명'이라고 부르고 있다. 현재 세계적인 백열전구 추방 운동에 의해 백열전구는 에너지 절약형인 CFL과 LED로 대체되겠지만, 앞으로는 CFL보다 더 장점이 많은 LED 조명이 주도하게 될 것이다.

LED는 반도체 성질을 이용한 발광체이다. 앞에서 배운 바와 같이 LED에 전류가 흐르면 전도띠에 있는 전자는 p-n 접합부를 통과면서 에너지띠의 차이에 해당하는 에너지를 빛으로 내놓는다. 이때 내놓는 빛의 색은 에너지띠의 폭에 따라 다른데, LED를 구성하는 반도체 소재의 종류에 따라 적외선(IR) 영역부터 가시광선, 자외선(UV) 영역까지 다양하다.

표 Ⅳ-13 같은 밝기의 백열전구와 CFL의 소비 전력

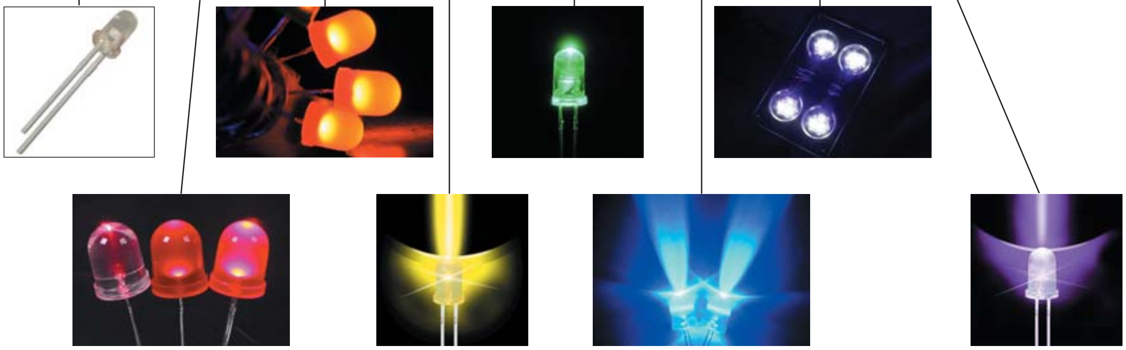
백열전구	CFL
40 W	9~13 W
60 W	13~15 W
75 W	18~25 W
100 W	23~30 W
150 W	30~52 W

? 물음 7. 형광등 안전 사고에 대한 다음 물음에 답하시오.

(1) 고장난 형광등은 어떻게 처리해야 하는가?
(2) 형광등이 깨졌을 때 진공 청소기를 사용하는 것이 좋은 방법일까?

표 Ⅳ-14 반도체 소재별 LED에서 방출되는 빛

<table>
<tr><td rowspan="3">반도체 화합물</td><td colspan="2">AlGaAs</td><td colspan="3">AlGaInP</td><td></td><td rowspan="3">InGaN</td><td rowspan="3">AlN
AlGaN
AlGaInN</td><td rowspan="3">청색 또는 자외선 LED에 황색 형광 물질</td></tr>
<tr><td rowspan="2">AlGaAs</td><td colspan="3">GaP</td><td rowspan="2">AlGaP</td><td rowspan="2">ZnSe</td></tr>
<tr><td colspan="3">GaAsP</td></tr>
<tr><td>파장 (nm)</td><td>760 이상</td><td>610~760</td><td>590~610</td><td>570~590</td><td>500~570</td><td>450~500</td><td>400~450</td><td>400 이하</td><td></td></tr>
<tr><td>빛</td><td>적외선</td><td>빨강</td><td>주황</td><td>노랑</td><td>녹색</td><td>청색</td><td>보라색</td><td>자외선</td><td>백색</td></tr>
</table>



여러 색깔을 내는 LED 소재가 개발되어 있지만 LED를 생활에 필요한 조명으로 사용할 수 있기 위해서는 백색 빛을 낼 수 있어야 한다. LED로 백색 빛을 내는 데는 두 가지 방식이 있다. 하나는 RGB 방식으로서 빛의 3원색에 해당하는 빨간색과 파란색, 녹색 LED를 합하여 백색을 내는 방법이다. 이 경우 넓은 스펙트럼 영역에서 빛이 고르게 분포되어 부드러운 백색 빛을 낸다. 또한 색깔 별로 LED를 조절하여 빛의 색을 연속적으로 변화시킬 수 있는 장점이 있으나, 세 개의 소자를 사용하기 때문에 가격이 비싸다.

두 번째 방법은 형광 방식으로서 형광등이나 CFL에서 자외선이 가시광선을 낼 수 있게 하는 것과 같은 방법이다. 즉 청색 LED나 자외선 LED에 황색 형광 물질

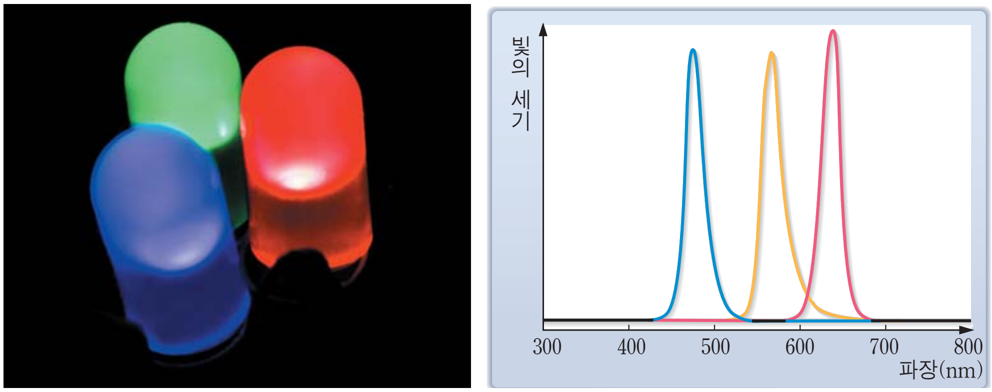


그림 Ⅳ-105 RGB에 해당하는 LED를 합하여 사용할 때 각각의 LED에서 나오는 스펙트럼



그림 Ⅳ-106 백색광 LED

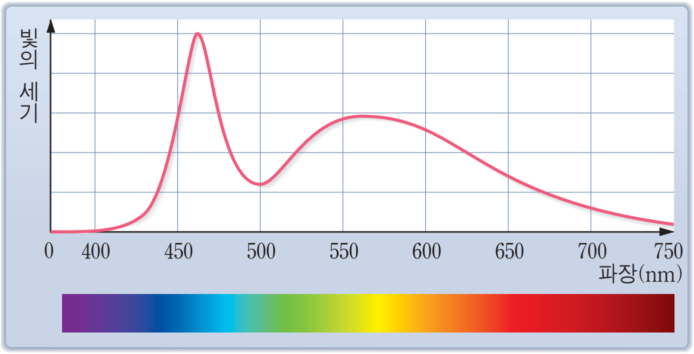


그림 Ⅳ-107 백색광 LED 스펙트럼

을 넣어 청색 빛이나 자외선이 형광 물질에 부딪쳐 백색광을 내게 하는 것이다. 이 경우 RGB와 달리 색을 변화시킬 수 없다. 또한 460~500 nm의 청색 부근에 강한 스펙트럼을 가지고 있어서 태양이나 백열전구 아래에서 사물을 보는 것과 다른 색감을 준다. 마치 형광등 아래에서 색깔이 다르게 보이는 것과 같은 현상이다. 그러나 비교적 가격이 저렴하기 때문에 일반 조명용으로 많이 사용되고 있다.

LED 하나의 밝기는 세지만 다른 조명과 달리 점광원에 가까워서 하나의 LED만으로는 조명에 충분한 밝기를 얻을 수 없다. 따라서 LED를 여러 개 모아서 사용한다.

LED는 비교적 적은 전력으로 밝은 빛을 낸다는 장점이 있지만 조명으로 사용하기에는 해결해야 할 어려움도 많다. 우선 LED는 반도체를 이용한 조명이기 때문에 가정용 교류를 그대로 사용할 수 없다. 또 기존의 전구나 형광등을 대체하기 위해서는 조명등이 사용하는 소켓을 공유할 수 있어야 한다. 따라서 조명용 LED에는 교류를 직류로 바꾸어 주고 전압과 전류를 조절해주는 장치가 같이 있어야 한다. 이 때문에 LED 조명은 다른 조명에 비해 가격이 비싼 편이다.

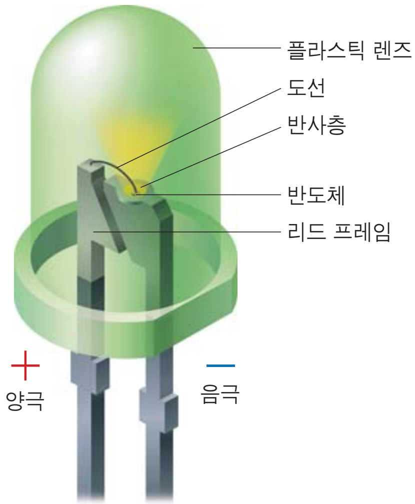


그림 Ⅳ-108 저전력 LED의 구조와 기호

LED는 전기 에너지를 바로 빛에너지로 바꾸는 역할을 하며, 이때 사용된 전력의 20~30%가 빛으로 바뀐다. 나머지는 기판을 통해 열로 방출된다. 반도체의 특성상 LED는 온도가 높아지면 성능이 저하되는 문제가 있다. 특히 밝은 빛

표 Ⅳ-15 LED 조명에서 백색광을 내는 두 방식의 장단점

구분	장점	단점
형광 방식	• 대량 생산에 적합함 • 빛이 밝음 • 효율이 좋음 • 가격이 저렴함	• 차가운 느낌 • 따스한 느낌을 주게 하는 LED는 가격이 비쌈 • 사물의 원래 색상과 다르게 보임
RGB 방식	• 다양한 색상이 가능함	• 색깔별 LED가 서로 다른 정격 전압, 동작 온도, 반응 시간을 가짐 • 색상 조절을 위해서는 별도의 장치가 필요함



그림 Ⅳ-109 LED로 만든 신호등



그림 Ⅳ-110 LED를 이용한 경관 조명

을 내기 위해 고전력 LED를 사용하는 경우 p-n 접합부의 온도가 올라가지 않도록 해야 한다. 발열 문제는 LED 조명에서 중요한 어려움 중 하나이다.

LED는 초기에 주로 컴퓨터나 전자기기 등의 작동 상태를 식별하기 위한 표시 장치로 사용되었다. 또 숫자를 표시하거나, 광고판, 대형 전광판 등에도 적용되었고, TV의 배경 광원으로 사용되고 있다. 최근에는 대량 생산과 기술의 발전에 힘입어 기존의 조명등을 대체하기 시작했다.

LED의 장점 중에 하나는 반응 시간이 대단히 빠르다는 것이다. 빨간색 LED의 경우, 전원을 넣고 수 ms 사이에 완전히 정상적인 상태의 빛을 방출할 수 있다. 형광등은 전원을 넣고 난 다음 정상적인 상태의 빛을 내기까지 어느 정도 시간이 걸리며, 온도가 낮을 때는 더 길어진다. 백열전구는 가열에 의해 빛을 내기 때문에 비교적 짧은 시간이지만 LED보다 시간이 더 걸린다. LED의 이러한 장점 때문에 LED는 그림 Ⅳ-113과 같이 자동차의 브레이크 등에 사용된다.



그림 Ⅳ-111 서울에서 열린 빛의 축제



그림 Ⅳ-112 LED 배경 광원 LCD TV



그림 Ⅳ-113 LED 브레이크 등

예제 22

브레이크 등에 LED를 사용하면 전구를 사용했을 때보다 200 ms 더 빨리 켜진다고 한다. 시속 120 km/h로 달리는 자동차가 앞차에서 브레이크 등이 켜지는 것을 보았다. 만일 앞차의 브레이크 등이 일상적인 전구였다면 LED를 사용했을 때보다 뒤차의 운전자는 얼마나 더 주행하게 되는가?

해설 | 속력 120 km/h는 33.3 m/s이다. 따라서 주행한 거리는

$33.3\ \mathrm{m/s} \times 200 \times 10^{-3}\ \mathrm{s} = 6.7\ \mathrm{m}$

이다. 즉, 일반 전구를 사용하면 LED를 사용했을 때보다 6.7 m 이상 더 주행하게 된다. 고속으로 운동하는 비행기나 자동차 등 교통수단에 신호 장치로 LED를 사용하면 사고를 더 줄여줄 수 있다.

답 6.7 m

섭씨온도와 화씨온도

이상하게 들리겠지만, 섭씨(攝氏)온도는 섭(攝)이라는 성을 가진 사람이 만든 온도 척도이고, 화씨(華氏)온도는 화(華)라는 성을 가진 사람이 만든 온도의 척도라는 것을 뜻한다. 이렇게 된 까닭은 18세기 중국에서 서양의 문물을 받아들일 때, 온도의 척도를 제안했던 셀시우스와 파렌하이트를 각각 섭과 화라는 한자로 표기했기 때문이다.

파렌하이트(Fahrenheit, Gabriel Danile, 1686~1736)는 독일의 과학자로서 1714년 수은 온도계를 발명했고, 1724년 온도 단위로 파렌하이트 척도를 제안했다. 그는 온도의 기준점으로 세 가지를 채택하였다. 즉 당시 기술로 얻을 수 있는 가장 낮은 온도를 0으로 하고 물의 어는점을 32, 사람의 체온을 96으로 정했다.



파렌하이트

그러나 이 척도에 의하면 물의 끓는점이 대략 212°F가 되기 때문에 후대 사람들에 의해 재조정 되었다. 즉 물의 끓는점을 정확히 212°F로 정의하여 물의 어는점 32°F로부터 180도 차이 나도록 하였다. 이로써 온도의 재현성과 보편성이 떨어지는 가장 낮은 온도와 사람의 체온을 포기하고, 어디서나 재현 가능한 물의 어는점과 끓는점을 온도의 기준점으로 삼은 것이다. 현재 파렌하이트 온도 단위는 미국 등 일부 국가에서 사용되고 있다.

셀시우스(Celsius, Anders, 1701~1744)는 스웨덴의 과학자로서 1742년 1기압 하에서 물의 끓는점을 0, 어는점을 100으로 정하는 온도 척도를 제안했다. 생물 분류법의 창시자 린네는 셀시우스의 기준이 온실의 온도를 측정하는 데 불편하다는 것을 알고 1744년 셀시우스 척도를 뒤집어 어는점을 0, 끓는점을 100으로 정의했고, 이 방식은 오늘날까지 채용되고 있다.



셀시우스



알코올 온도계

수은 온도계

산업용 기체 온도계

해수면 온도 측정을 위한 적외선 온도계

산업용 적외선 온도계

금속의 팽창을 이용한 온도계

열전쌍 효과를 이용한 산업용 온도계

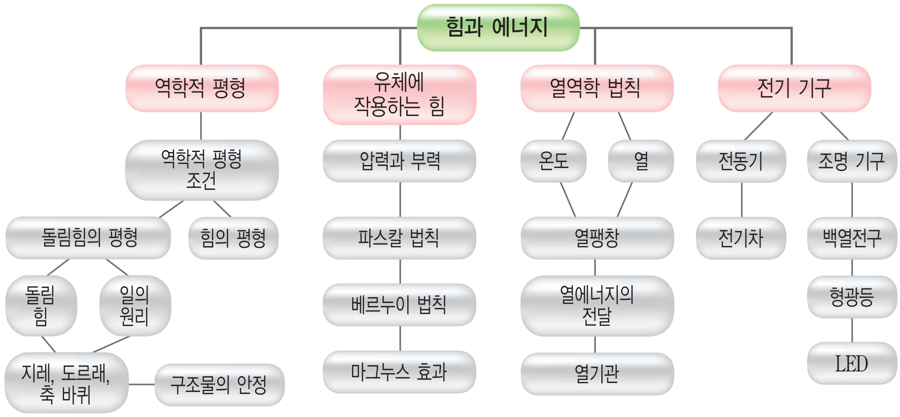
적외선 체온계

고기 굽는 온도 측정용 온도계

정보의 전달과 저장

02 중단원 마무리

한눈에 보기



되짚어 보기

- 도르래, 축바퀴에는 지레의 원리가 적용된다.
- 알짜힘과 돌림힘의 합이 모두 0이 될 때 그 물체는 역학적 평형을 이룬다.
- 구조물의 안정성은 역학적 평형으로 설명할 수 있다.
- 유체에는 파스칼 법칙이 적용된다.
- 부력은 잠긴 부분의 유체의 무게에 해당하는 힘과 동일하며, 부력의 본질은 중력이다.
- 베르누이 법칙에 의하면 일정한 높이에서 천천히 흐르는 유체는 빨리 흐르는 유체보다 작용하는 압력이 작다.
- 마그누스 힘은 베르누이 법칙에 의해 회전하는 물체가 받는 힘이다.
- 열에너지가 전달되는 방식에는 전도, 대류, 복사가 있다.
- 열에 의해 주고받은 일과 내부 에너지의 변화는 에너지 보존 법칙을 따르며, 이를 열역학 제1 법칙이라고 한다.
- 열기관은 외부로부터 열에너지를 받아 그 중 일부를 다른 형태의 에너지로 전환하는 장치를 말한다.
- 전동기는 자기장 내에서 흐르는 전류가 받는 로런츠 힘을 이용한 것이다.
- 형광등과 LED의 에너지 효율이 백열전구보다 훨씬 좋으며, LED는 형광등보다 수명이 월등히 길다.

주요 용어

돌림힘
아치
일의 원리
역학적 평형
파스칼 법칙
부력
베르누이 법칙
마그누스 효과
섭씨온도(℃)
화씨온도(°F)
절대 온도(K)
이상 기체
전도
대류
복사
비열
열용량
내부 에너지
열기관
정류자
LED

확인하기

1 수진이는 자기 몸의 밀도를 측정하려고 한다. 수영장에서 숨의 양을 조절하여 몸이 물과 밀도가 같도록 만들어 물속의 어느 위치에 정지하게 하였다. 그때 들여 마신 숨의 양은 평상시와 비교해 보니 1500 cm^3만큼 더 많았다. 수진이 몸의 질량은 42.0 kg이었다. 물의 밀도를 1 g/cm^3라고 할 때 평상시 수진이 몸의 밀도는 약 얼마인가?

① 0.93 g/cm^3 ② 0.96 g/cm^3 ③ 0.99 g/cm^3
④ 1.04 g/cm^3 ⑤ 1.07 g/cm^3

2 어떤 자동차 엔진이 있다. 이 엔진이 사용한 연료의 에너지는 엔진이 한 일보다 3배 크다고 한다. 엔진의 열효율은 얼마인가?

① $\frac{1}{3}$ ② $\frac{1}{2}$ ③ $\frac{2}{3}$ ④ $\frac{3}{2}$ ⑤ 2

3 75 W의 백열전구를 같은 밝기의 LED 전등으로 교체하였다. 백열전구는 사용하는 전기 에너지의 8%를 빛으로 바꾸지만 LED 전등은 20%를 빛으로 바꾼다. 같은 밝기일 때 LED 전등은 백열전구가 소모하는 에너지의 30%만 사용한다고 할 때, LED 전등과 백열전구가 빛으로 사용한 에너지는 얼마인가?

(단위: W)	①	②	③	④	⑤
백열전구	6	1.8	6	1.8	6
LED	22.5	4.5	4.5	22.5	1.8

4 1.00 kg의 0 ℃ 얼음이 있다. 이 얼음을 가열하여 모두 100 ℃의 수증기로 만들려고 할 때, 얼마의 에너지면 충분한가? 단, 1기압에서 얼음의 융해열이 3.33×10^5 J/kg, 물의 기화열은 2.26×10^6 J/kg, 물의 비열이 4186 J/kg·℃이다.

① 1.07×10^3 J ② 3.01×10^3 J ③ 2.63×10^4 J
④ 2.68×10^5 J ⑤ 3.01×10^6 J

단원 마무리

단원평가

1 전선을 동서로 서서 1초에 한 번씩 반지름이 4.00 m인 반원을 그리며 줄넘기를 하고 있다. 서울의 남북 방향의 수평 지자기 세기는 약 2.97×10^{-5} T이다. 전선에 유도되는 기전력은 얼마인가?

① ±0.75 mA ② ±1.50 mA ③ ±2.25 mA
④ ±3.00 mA ⑤ ±3.75 mA

2 어떤 한 가정은 무더위나 혹한 때 최대 순간 전력을 3.50 kW까지 사용한다. 이 가정에 220 V가 공급되고 있다면 순간 최대 전류값은 얼마인가? 단, 이때 전력, 전압, 전류는 모두 실효값이다.

① 11.1 A ② 12.3 A ③ 13.5 A
④ 14.7 A ⑤ 15.9 A

3 온도가 20.0℃, 압력이 1.50×10^5 Pa, 부피가 1 L인 기체가 용기에 들어 있다. 용기의 부피가 2배로 되고 압력은 1기압$=1.01 \times 10^5$ Pa이 되었다. 온도는 약 얼마인가?

① 46 ℃ ② 68 ℃ ③ 83 ℃
④ 97 ℃ ⑤ 123 ℃

4 α선은 헬륨 원자핵의 흐름이다. 35 MeV의 운동 에너지를 가진 헬륨 원자핵의 속력은 얼마인가? 단, 헬륨 원자핵의 질량은 수소 원자핵의 4배이다.

① 2.1×10^8 m/s ② 4.1×10^7 m/s ③ 3.3×10^6 m/s
④ 7.5×10^5 m/s ⑤ 9.7×10^4 m/s

5 $^{235}_{92}$U의 235 g이 낼 수 있는 에너지는 1.89×10^{13} J이다. 한국전력공사의 통계 자료에 의하면 2009년도 서울에서 1년간 소비한 전기 에너지는 약 4.5×10^{13} Wh이다. $^{235}_{92}$U가 핵분열할 때 나오는 에너지를 전기 에너지로 완전히 전환한다면, 1년 간 서울에 전기를 공급하기 위해 몇 kg의 $^{235}_{92}$U가 필요한가?

① 약 1톤 ② 약 1.4톤 ③ 약 1.8톤 ④ 약 2톤 ⑤ 약 2.3톤

6 매일 머리를 감고 난 다음 헤어드라이어로 머리를 말리고 있다. 헤어드라이어의 정격 소비 전력은 1.5 kW이고, 하루에 10분씩 사용한다. 30일 사용한다고 할 때 헤어드라이어가 사용하는 전기 에너지 비용은 얼마인가? 단, 전기 회사에서는 kWh당 60원의 요금을 받는다.

① 120원 ② 180원 ③ 325원 ④ 380원 ⑤ 450원

7 바람이 초속 5 m/s의 속력으로 불고 있다. 이 바람으로 반지름이 5 m인 날개로 풍력 발전을 하려고 할 때 바람이 날개에 전해줄 수 있는 초당 운동 에너지는 약 얼마인가? 이때 공기의 밀도는 $\rho=1.29$ kg/m^{3}이다.

① 2.69×10^3 W ② 3.55×10^3 W ③ 4.62×10^3 W ④ 5.38×10^3 W ⑤ 6.33×10^3 W

8 170 cm × 100 cm 크기의 태양 전지 패널이 있다. 태양 전지의 에너지 전환 효율은 12 %이고, 대기권 밖의 태양 상수 1.40 kW/m^{2}에 대해 실제 태양 전지가 받는 에너지 비율은 70 %이다. 이 태양 전지의 출력은 약 얼마인가?

① 150 W ② 175 W ③ 200 W ④ 225 W ⑤ 250 W

9 0℃에서 밀도가 0.935 g/cm^{3}인 식용유에 밀도가 0.917 g/cm^{3}인 얼음 조각 10.0 g을 넣었다. 얼음이 얼마나 녹았을 때 얼음과 물은 가라앉기 시작하는가? 0℃에서 물의 밀도는 1.000 g/cm^{3}이고, 얼음이 녹는 동안 식용유의 온도는 변하지 않으며, 녹은 물은 얼음과 분리되지 않는다고 가정한다.

① 2.17 g ② 2.32 g ③ 3.36 g ④ 4.43 g ⑤ 5.21 g

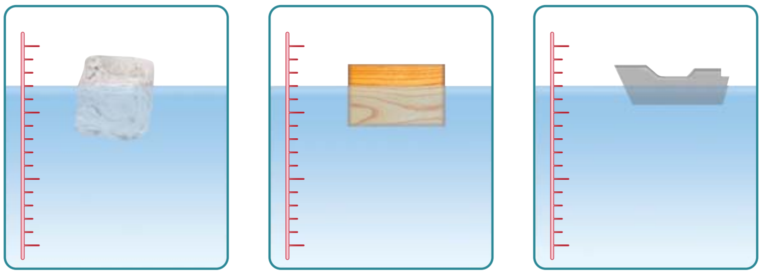
단원 마무리

창의력 평가

1 바람이 잘 통하는 산 속의 어떤 계곡에는 얼음골이라는 곳이 있다. 무더운 여름에도 얼음이 남아 있거나 얼음이 생기기도 한다. 주변의 온도는 어는점보다 높음에도 어떻게 얼음이 보존되거나 얼 수 있는지 조사해 보자.

2 α 입자가 3 T의 크기를 가진 자기장에 수직으로 입사하면 어떤 운동을 할까?

3 질량이 모두 같은 얼음 조각, 나무 도막, 알루미늄 포일이 있다. 비커마다 같은 양의 물을 넣고 각각을 물에 넣었다. 이때 알루미늄 포일은 배 모양으로 만들어 물 위에 띄운다. 다음과 같은 상황에서 물의 높이가 어떻게 될지 예측하고, 그 까닭을 설명해 보자. 이때 물의 밀도는 $1\ \mathrm{g/cm^3}$로 하고, 온도 변화에 따른 밀도 변화는 고려하지 않는다.



(가) (나) (다)

(1) 얼음이 모두 녹았을 때
(2) 나무 도막을 밀어 수면 아래로 완전히 잠기게 했을 때
(3) 알루미늄 배를 물속에 가라앉혔을 때

4 220 V 전압을 사용하는 한 가정에서 최대로 사용할 수 있는 전류의 세기를 30 A라고 하자. 10만 가구의 도시에서 사용하는 전력을 공급하기 위해 345 kV의 송전선을 사용하고 있다. 이 송전선 대신 에너지 손실률을 증가시키지 않고 220 V로 송전하게 된다면 송전선의 굵기는 몇 배나 되어야 하는가?

5 아르키메데스가 증명한 것은 정수값을 가진 추의 평형이었다. 그러나 모든 추가 항상 정수값을 갖지는 않는다. 예를 들어 추의 무게비가 $\sqrt{2}:\frac{1}{3}$이라고 하자.

(1) 사고 실험을 통해 거리의 비를 어떻게 증명할 수 있을까?
(2) 추의 균등한 배열은 추가 연속적인 값을 가질 때 어떻게 해야 하는가? 이를 해결할 수 있는 아이디어를 창의적으로 제시해 보자.

과학 글쓰기

❖ 다음은 조명 기구들의 특징과 장단점을 나타낸 것이다.

	백열전구	형광등		LED	
		직관형 형광등	CFL		
					
원리	전기 저항에 의한 가열	수은 원자와 전자가 충돌할 때 방출되는 빛을 가시광선으로 바꿈		에너지 띠에서 전자가 전이할 때 방출되는 빛	
수명 (시간)	1,000～2,000	20,000～30,000	8,000～1,0000	30,000～50,000	
효능 (루멘/와트)	10～18	50～100	36～60	25～64	
장점	• 가격이 저렴하다.	• 자연광과 비슷하다. • 에너지 효율이 좋다.		• 환경 유해 물질의 위험이 없다. • 에너지 효율이 좋다. • 크기를 작게 만들 수 있다. • 저온에서도 사용 가능하다. • 스위치를 켤 때 반응 시간이 짧다. • 충격에 강하다. • 성능이 천천히 저하된다. • 식물의 광합성을 촉진한다.	
단점	• 수명이 짧다. • 에너지의 대부분이 열로 방출된다. • 수명이 다하면 갑자기 꺼진다.	• 수은을 사용한다. • 온도가 낮을 때 충분한 빛을 내지 못한다. • on/off를 반복할 때 성능이 떨어진다. • 스위치를 켤 때 반응 시간이 길다. • 수명이 다하면 갑자기 꺼진다.		• 초기 설치 비용이 많이 든다. • 열에 약하다.	

세계 각국에서는 에너지 절약과 탄소가스 감축을 위해 백열전구 퇴치 운동을 전개하고 있다. 그러나 백열전구 대신 에너지 효율이 높은 형광등과 LED로 교체하는 경우, 해결해야 할 문제점도 많다.

1 세계 각국 및 우리나라의 백열전구 퇴치 운동 배경과 현황을 조사하여 보자.

2 세계 및 우리나라 백열전구, 형광 등, LED 전등의 생산 규모와 추세를 조사하여 보자.

3 백열전구 퇴치 운동의 당위성을 설명하고, 백열전구를 다른 전구로 대체하는 경우 발생될 수 있는 문제점을 지적한 후, 이를 해결할 수 있는 정책적, 기술적 대안을 제시하여 보자.

연료 전지와 수소 저장 기술



전기 자동차용 연료 전지

연료 전지는 수소와 산소가 결합하여 물이 될 때 발생하는 화학적 기전력을 이용한 장치이다. 순수한 수소와 산소만을 연료로 사용한다면 오염 물질을 배출하지 않으면서 전기 에너지를 얻을 수 있다. 연료 전지는 양극과 음극으로 된 전극과 이들 사이에 전해질과 촉매가 있는 구조로 되어 있다. 전해질은 전하를 한 전극에서 다른 전극으로 전달해 주는 역할을 하며, 촉매는 반응이 빠르게 일어나도록 도와주는 역할을 한다.

연료의 화학적 퍼텐셜 에너지를 사용한다는 점에서 연료 전지는 내연 기관이나 전지와 같지만, 연소 과정을 거치지 않고 화학 반응을 통해 직접 기전력을 얻는다는 점에서 내연 기관과 다르고, 기전력을 얻기 위해 외부에서 연료를 공급한다는 점에서 전지와 다르다.

연료 전지는 물을 전기 분해할 때 산소와 수소가 발생하는 과정을 거꾸로 되돌린 것이다. 즉 물을 산소와 수소로 분리하기 위해서는 전기 에너지가 필요하지만, 산소와 수소를 반응시켜 물을 만들 때는 화학적 결합 에너지의 차이에 의해 전기 에너지가 발생한다는 점을 이용한 것이다. 1839년 영국의 과학자 그로브(William Robert Grove)가 백금 전극을 이용하여 산소와 수소를 반응시킬 때 기전력이 발생한다는 것을 보였다.

NASA에서는 1960년대부터 우주선에 물과 전기를 공급하기 위해 연료 전지를 사용하였다. 1965년 제미니 5호에 처음 이온 교환막을 이용한 PEM형 연료 전지를 탑재하였고, 아폴로 우주선에서는 효율이 더 좋은 알카리형 연료 전지를 사용하였다.



아폴로 우주선의 연료 전지

연료 전지는 크게 우주선이나 전기 자동차, 잠수함 등에 사용하는 소규모의 이동형(On-Board)과 상업용 발전소에서 사용하는 대용량의 고정형(Off-Board)이 있다. 여러 나라에서는 효율이 좋고 사용하기 간편한 전기 자동차용 연료 전지와 대규모 발전에 적절한 발전소용 연료 전지를 개발하는 데 많은 노력을 기울이고 있다.



연료 전지 자동차의 수소 저장 탱크



수소 충전소

연료인 수소는 산소와 연소하면 폭발하기 때문에 많은 양의 수소를 안전하게 저장하는 기술이 필요하다. 연료 전지 자동차에서는 수소를 고압인 약 350~700기압으로 압축하여 저장하거나 액화 수소를 이용하지만, 고압이나 초저온에 견딜 수 있는 저장 탱크를 사용해야 한다. 더 많은 양의 수소를 탱크에 저장하기 위해 금속 분말과 결합시켜 수소 화합물 형태로 저장하는 기술도 개발되었다. 여기에는 MgH_2나 $NaAlH_4$, $LiAlH_4$ 등이 있으며, 부피당 에너지의 양이 크기 때문에 수소 충전소 같은 곳에서 사용할 수 있다. 저장될 때는 약 700기압 이상에서 수소 기체가 금속과 결합하고, 사용할 때는 300℃ 이상에서 수소가 금속과 분리되기 때문에 전기 자동차에서는 사용되기 어렵다.

수소의 저장 방식		수소의 저장량 ($\times 10^{22}$개/cm^3)	전체 무게 중 수소 무게의 비율(%)
물리적 방식	200기압의 수소 기체	1.0	100
	20K(−253℃)의 액화 수소	4.2	100
	4.2K(−269℃)의 고체 수소	5.3	100
화학적 방식	MgH_2	6.5	7.6
	Mg_2NiH_4	5.9	3.6
	$FeTiH_4$	6.0	1.9

연료 전지가 대중화되기 위해서는 실온과 대기압에서 수소의 결합과 분리가 일어날 수 있는 저장 기술이 필수적이다. 2006년 서울대학교의 임지순 교수팀은 이 기술을 세계 최초로 개발하여 주목받고 있다. 임교수팀은 플라스틱을 이루는 물질인 폴리머에 티타늄 금속 원자를 섞을 때 실온과 대기압에서도 수소가 대량으로 안전하게 저장된다는 사실을 발견했다. 이 물질로 수소 저장 장치를 만들면 같은 크기의 고압 수소 탱크보다 세 배나 많은 수소를 저장할 수 있다. 이 기술이 실용화되면 수소 연료 전지 자동차가 보급되는데 큰 기여를 하게 될 것이다.



제미니 우주선의 PEM형 연료 전지

부록 중요 물리 상수, 그리스 문자

중요 물리 상수

물리량	기호	상수값
만유인력 상수	G	$6.67259\times10^{-11}\ \mathrm{N\cdot m^2\cdot kg^{-2}}$
중력 가속도	g	$9.80665\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$
보편 기체 상수	R	$8.314472\ \mathrm{J\cdot mol^{-1}\cdot K^{-1}}$
아보가드로수	N_A	$6.02214199\times10^{23}\ \mathrm{mol^{-1}}$
볼츠만 상수	k	$1.3806503\times10^{-23}\ \mathrm{J\cdot K^{-1}}$
광속(진공에서)	c	$2.99792458\times10^{8}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$
진공 유전율	ε_0	$8.854187817\times10^{-12}\ \mathrm{F\cdot m^{-1}}$
기본 전하량	e	$1.602176462\times10^{-19}\ \mathrm{C}$
전자의 정지 질량	m_e	$9.10938188\times10^{-31}\ \mathrm{kg}$
전자의 비전하	e/m_e	$1.758820174\times10^{11}\ \mathrm{C\cdot kg^{-1}}$
패러데이 상수	F	$9.64853415\times10^{4}\ \mathrm{C\cdot mol^{-1}}$
플랑크 상수	h	$6.62606876\times10^{-34}\ \mathrm{J\cdot s}$
슈테판 · 볼츠만 상수	σ	$5.670400\times10^{-8}\ \mathrm{W\cdot m^{-2}\cdot K^{-4}}$
뤼드베리 상수	R_∞	$1.0973731568549\times10^{7}\ \mathrm{m^{-1}}$
보어 반지름	$a_0,\ r_\mathrm{B}$	$5.291772083\times10^{-11}\ \mathrm{m}$
원자 질량 단위	m_u	$1.66053873\times10^{-27}\ \mathrm{kg}$
양성자의 정지 질량	m_p	$1.6726158\times10^{-27}\ \mathrm{kg}$
중성자의 정지 질량	m_n	$1.67492716\times10^{-27}\ \mathrm{kg}$

그리스 문자

대문자	소문자	읽는법		대문자	소문자	읽는법	
A	α	알파	(alpha)	N	ν	뉴	(nȳ)
B	β	베타	(bēta)	Ξ	ξ	크사이	(xi)
Γ	γ	감마	(gamma)	O	o	오미크론	(omikron)
Δ	δ	델타	(delta)	Π	π	파이	(pi)
E	ε	엡실론	(epsilon)	P	ρ	로	(rhō)
Z	ζ	지타	(zeta)	Σ	σ	시그마	(sigma)
H	η	이타	(ēta)	T	τ	타우	(tau)
Θ	θ	시타	(theta)	Y	υ	입시론	(upsilon)
I	ι	요타	(iōta)	Φ	φ	파이	(phi)
K	$\varkappa$	카파	(kappa)	X	χ	카이	(khi)
Λ	λ	람다	(lambda)	Ψ	ψ	프사이	(psi)
M	μ	뮤	(mȳ)	Ω	ω	오메가	(omega)

Ⅰ 시공간과 우주

1. 시간, 공간, 운동

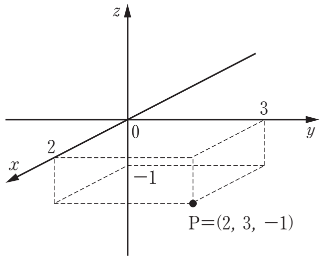
14~59쪽

물음

1.

사건	
밤의 길이	1분과 1일 사이
빛의 1 m 이동 시간	1 ns 미만
우주의 나이	10^9이상
핼리 혜성 주기	1년과 10^2년 사이
눈 깜박할 사이	1 ms와 1 s 사이
여름의 길이	1달과 1년 사이
지구의 나이	10^9년 이상
뉴턴 법칙이 나온 이후부터 지금까지 기간	10^2년과 10^3년 사이

2. (2, 3, −1)



3. (1) 1 nm=(10^{-9})m=(10^{-6})km
(2) 1광년=(9.46×10^{15})m=(9.46×10^{12})km
(3) 1파섹=(3.09×10^{16})m=(3.09×10^{13})km

4. $360^\circ \times \dfrac{800\text{ km}}{7.12^\circ}=40{,}449\text{ km}$

5. 생략

6.

길이	
서울에서 부산까지	1 km와 10^3 km 사이
원자의 지름	1 nm미만
지구에서 태양까지	10^6 km와 10^9 km 사이
백화점 높이	1 m와 1 km 사이
안드로메다 은하까지	10^{12} km 이상
개미의 크기	1 mm와 1 m 사이
학교에서 집까지	1 km와 10^{13} km 사이
사람의 키	1 m와 1 km 사이

7. (−280 km/h)−295 km/h=−575 km/h
즉 부산 방향으로 575 km/h이다.

8. $\dfrac{\Delta v}{\Delta t}=\dfrac{50\text{ m/s}-10\text{ m/s}}{5\text{ s}}=8\ \text{m/s}^2$

9. $s=\dfrac{1}{2}at^2+v_0t$

$=\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{v-v_0}{t}\right)t^2+v_0t$

$=\dfrac{1}{2}vt+\dfrac{1}{2}v_0t+v_0t$

$=\dfrac{1}{2}vt+\dfrac{1}{2}v_0t$

$=\dfrac{1}{2}(v+v_0)t$

t를 소거하기 위해 양변에 a를 곱해주면

$as=\dfrac{1}{2}(v+v_0)t\times a$

$=\dfrac{1}{2}(v+v_0)t\times\dfrac{v-v_0}{t}$

$=\dfrac{1}{2}(v^2-v_0^{\,2})$

즉 $2as=v^2-v_0^{\,2}$이 성립한다.

10. (1) ×, 이동 거리가 0인 경우
(2) ◯, 중력과 중력 방향으로 이동 거리가 있다.
(3) ◯, 추진력과 추진 방향으로 이동 거리가 있다.

11. A(40 J), B(30 J), C(20 J), D(10 J), E(0 J), F(0 J)
중력 퍼텐셜 에너지는 운동 상태와 관계없이 물체의 위치(높이)에만 영향을 받는다.

12. (1) $U=mgh=3\text{ kg}\times10\text{ m/s}^2\times0.45\text{ m}=13.5\text{J}$
(2) $\sin30^\circ=\dfrac{1}{2}$이고, 또 $\sin30^\circ=\dfrac{h}{d}$ 이므로
$d=0.45\text{ m}\times2=0.9\text{ m}$이다.
(3) $mgh=Fd$
$3\text{ kg}\times10\text{ m/s}^2\times0.45\text{ m}=F\times0.9\text{ m}$
$F=15\text{ N}$
(4) $Fd=15\text{ N}\times0.9\text{ m}=13.5\text{ J}$

13. $2as=v^2-v_0^{\,2}$를 이용하면 $v=0$이므로
$v^2=2as$
$v=\sqrt{2as}$
이 식에 $F=ma$를 대입하면
$v=\sqrt{2\dfrac{F}{m}s}$
$=\sqrt{2\times\dfrac{30\text{ N}}{8\text{ kg}}\times0.8\text{ m}}$
$=\sqrt{6}\text{ m/s}$
$=2.45\text{ m/s}$

확인하기

1. 시각은 시간축에서 사건이 일어나는 점이며, 시간은 시각과 시각 사이의 간격이다.

2. 360°에 24시간 차이가 나므로 $\frac{360^\circ}{24\ \text{h}}=15^\circ/\text{h}$이다.

3. 공간 3차원+시간 1차원=시공간 4차원

4. 꼭짓점을 평면에 옮길 수 없으므로 곡면 위의 모든 점을 다 옮기려면 적어도 두 개의 평면이 필요하다.

5. 속도는 시간에 대한 변위의 비율이고, 속력은 시간에 대한 이동한 거리의 비율이다.

6. 속도는 $\frac{\text{변위}}{\text{시간}}$이므로 단위로는 m/s, km/h 등을 사용한다.
   가속도는 $\frac{\text{속도}}{\text{시간}}$이므로 단위로는 m/s^2, cm/s^2 등을 사용한다.

7. 운동 제2법칙에서 알짜힘이 작용하지 않으면 가속도가 없으므로 속도가 일정한 운동이 된다. 이것은 바로 관성 법칙에 해당한다. 따라서 관성 법칙은 뉴턴 운동 제2법칙에서 알짜힘이 없는 특별한 경우라고 할 수 있다.

8. 여러 가지 예를 들 수 있는데, 그 중 하나는 충돌할 때에 충돌 시간을 늘리는 방법을 사용한다.

9. 물리학적으로 사용하는 힘은 물체의 운동이나 모양을 변화시키는 물리량으로 정의하나 일상생활에서는 힘을 물리학적인 정의를 포함하여 여러 가지로 사용하는데, 특별히 에너지나 시간에 대한 에너지 비율로 사용하는 경우도 있다.
   일은 물리학적으로는 힘을 주고 반드시 이동하는 경우에만 적용하나 일상에서는 힘과 일을 구별하지 않으며, 특히 이동하지 않았거나 힘의 방향과 수직으로 이동한 경우에서도 일을 하고 있다고 믿는다.

10. 용수철 상수가 k인 용수철에 달린 질량이 m인 물체가 평형점에서 x의 위치만큼 이동하였을 때 탄성 퍼텐셜 에너지는 $U=\frac{1}{2}kx^2$이며, 그때의 운동 에너지는 $K=\frac{1}{2}mv^2$이다. 따라서 이때의 역학적 에너지 보존 법칙은 다음과 같다.
    $\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}kx_1^2=\frac{1}{2}mv_2^2+\frac{1}{2}kx_2^2$
    예를 들어 1의 위치가 평형점이면 $x_1=0$이며, 그곳에서의 운동 에너지는 최대가 된다. 2의 위치가 최대로 늘어난 위치라면 그곳에서는 물체가 멈추게 되므로 $v_2=0$으로서 운동 에너지는 최소, 즉 0이다. 이들로부터 최대 속도와 최대로 늘어난 위치와의 관계식을 얻을 수 있다.
    $\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}kx_2^2$

2. 시공간의 새로운 이해

62~113쪽

물음

14. $T^2 \propto r^3\ T=\ (\sqrt[2]{4}\ )^3=8$(년)

15. $L=L_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}=1\times\sqrt{1-\frac{(0.6c)^2}{c^2}}=0.8(\text{m})$

16. $t=\frac{t_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}=\frac{1}{\sqrt{1-\frac{(0.8c)^2}{c^2}}}=1.67$(초)

17. $E=m_0c^2=1\times10^{-3}\ \text{kg}\times(3\times10^8\ \text{m/s})^2=9\times10^{15}\ \text{J}$

18. (1) $F=50\ \text{kg}\times10\ \text{m/s}^2=500\ \text{N}$, 즉 뒤로 500 N이다.
    (2) $F=ma=50\ \text{kg}\times0\ \text{m/s}^2=0\ \text{N}$
    (3) $F=ma=50\ \text{kg}\times(-10\ \text{m/s}^2)=-500\ \text{N}$,
    즉 앞으로 500 N이다.

확인하기

1. 케플러 제3법칙에 의하면 행성의 긴반지름의 세제곱과 주기의 제곱은 비례한다.

2. ① 균일하게 움직이는 모든 좌표계에서는 모든 자연계의 법칙이 동일하다.
   ② 광속은 광원이나 관측자의 운동에 관계없이 항상 같은 값으로 측정된다.

3. 움직이는 물체의 길이는 줄어져 보이며, 시간은 느리게 간다.

4. ① 가속하는 좌표계에 작용하는 관성력과 중력은 구별할 수 없다.
   ② 중력이 작용하는 주위의 공간은 굽어진다.

5. 중력 렌즈에 의해 원 모양의 상이 생기려면 광원, 렌즈, 관측자가 완벽하게 일직선 상에 있어야 한다.

6. 블랙홀은 중력에 의해 굽어져서 어느 물체든지 한 번 들어가면 빠져 나오지 못하게 되는데, 심지어 빛마저도 밖으로 나올 수 없어 검은 구멍이라고 한다.

7. 세 우주 모형 모두 팽창 우주를 설명하나 대폭발 우주는 감속 팽창, 급팽창 우주는 짧은 시간 동안에 급격하게 가속 팽창하며, 가속 팽창 우주는 현재의 우주를 설명하는 것으로, 가속 팽창하는 모형이다.

8. 실제로 허블의 법칙에서 허블 상수는 시간에 따라 변한다. 따라서 보통 '현재'와 같은 특정 시각에서의 값을 적용하여 이해한다.

9. 원자핵 같이 핵의 범위에서는 강력, 전자기력, 약력, 중력의 순서이지만, 거시적인 거리에서는 강력과 약력은 거의 작용하지 않는다.

10. 중성자는 3개의 쿼크로, 중간자는 2개의 쿼크로 이루어져 있다.

단원평가

96~99쪽

1. 일직선 상에서 오른쪽을 (+)로, 왼쪽을 (−)로 하였을 때

- A는 원점보다 큰 오른쪽의 어떤 위치에서 원점을 향하여 일정하게 움직이는 운동한다.
- B는 원점에서 출발하여 오른쪽으로 운동할 때 세 구간에서 각각 속도가 다른 등속 운동을 한다. 이때 속도는 작고−크고−작은 순서를 갖는다.
- C의 운동에서 속도는 (+)이었다가 점차 줄어들어 0을 거쳐 (−)의 값이 된다. 이것은 처음에 특정 속도로 오른쪽으로 움직이는데, 점차 속도가 일정하게 줄어들므로 멈추었다가 반대 방향으로 움직이며 점차 속도가 늘어나는 가속 운동한다.
- D는 정지 상태에서 오른 쪽으로 일정하게 속도가 증가하는 등가속도 운동한다.

  E에서는 속도가 일정한 상태에서 가속도가 증가하는 운동을 하다가 (−)방향의 가속도를 갖는데, 이때 (−)방향의 가속도가 점점 줄어드는 운동한다.

2. (1) 자유 낙하 운동이므로 $s=\frac{1}{2}gt^2$ 식을 이용하면 10 m 높이에서 떨어지기까지 걸린 시간은 $\sqrt{2}$초이다. 따라서 땅 바닥에 떨어지기 직전의 속도는

$v=gt=10\sqrt{2}=14.1$ m/s이다.

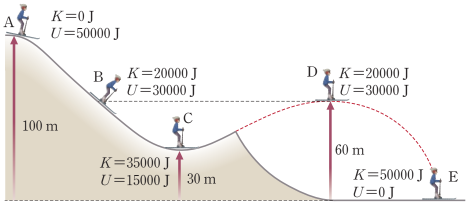
(2) 운동량의 변화량은 방향이 바뀌었으므로

$\varDelta p=m(v_2-v_1)=0.8\text{ kg}\times(4+10\sqrt{2})\text{m/s}$

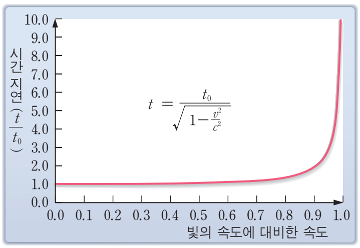
$=14.5\text{ kg}\cdot\text{m/s}$이다.

(3) 충격량은 운동량 변화량과 같은 14.5 kg·m/s이다.

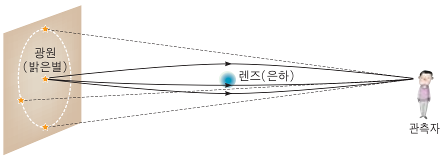
3.



4.



5.



6. (1) γ (2) μ (3) τ

(4) 강력 (5) 약력 (6) 약력

Ⅱ 물질과 전자기장

1. 전자기장

106~135쪽

물음

1. $F=k\frac{qq'}{r^2}=9.0\times10^9\text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\times\frac{(1.6\times10^{-19}\text{ C})^2}{(1\times10^{-15}\text{ m})^2}$

$=230$ N

2. 힘을 받는다.

왜냐하면 전하 A도 전기장을 형성하게 되고 전하 A가 그 안에 놓여 있으므로 전하 B에 의한 전기력을 받는다.

3. 같은 넓이의 면을 지나는 자기력선 수를 비교하면 C지점의 전기장의 세기는 A지점보다는 세고, B지점보다는 약하다는 것을 알 수 있다.

4. 서로 인력이 작용하므로 $-Q$와 $+q$를 잇는 선에서 $-Q$가 있는 방향을 향한다.

5. $E=\frac{F}{q}=\frac{kQ}{r^2}$

$=9.0\times10^9\text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2\times\frac{6\times1.6\times10^{-19}\text{ C}}{(1\times10^{-10}\text{ m})^2}$

$=8.6\times10^9$ N/C

6. 도체와 부도체의 가장 큰 차이점은 도체는 자유 전자가 원자를 벗어나 이동하여 정전기 유도가 일어나고, 부도체는 전자들이 원자 내에서 평형점을 조금씩 벗어나는 분극에 의해 정전기 유도가 일어난다.

7. 전류 방향이 같을 때 마주 보는 부분의 극이 다르므로 인력이 작용하고, 전류 방향이 다를 때는 마주 보는 극이 같은 극이 되므로 척력이 작용한다.

확인하기

1. (1) 척력이 작용하므로 같은 종류이다.

(2) 두 전하는 작용 반작용에 의해 같은 힘이 작용하므로 전하량의 크기가 같을 필요는 없다.

(3) 각 공에는 전기력, 중력, 장력이 작용하고 있다.

2. 종이 면을 뚫고 나오는 방향

오른쪽 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥐면 엄지손가락이 가리키는 방향이 자기장의 방향이다.

3. 외부에 자기장을 만들므로 원형 고리 전류가 있다.

4. 시계 방향

렌즈 법칙에 의해 유도 전류를 자기장의 지속의 증가를 방해하는 방향으로 생긴다. 즉, 오른손의 엄지손가락을 자기장의 자속을 증가시키는 방향의 반대를 향하게 하면 나머지 네 손가락의 방향이 유도 전류의 방향이다.

5. d=e>b>a=c

유도 전류의 세기는 시간에 따른 자기장의 세기 변화에 비례한다. 즉 그래프에서 기울기에 해당하며, 크기만을 비교하므로 (+), (−)는 고려하지 않아도 된다.

2. 물질의 구조와 성질

162~193쪽

확인하기

1. 원자의 핵에 대부분 질량이 있으므로 안쪽에 몰려 있다.
2. $f\lambda=c,\ f=\dfrac{c}{\lambda}=\dfrac{3\times10^8\ \mathrm{m/s}}{1.5\times10^{-10}\ \mathrm{m}}=2\times10^{18}\ \mathrm{Hz}$
3. 빛을 방출한다.
4. p형 반도체가 된다.
5. 초전도체 성질을 나타내기 시작하는 온도
6. 액정은 액체의 성질과 고체의 성질을 동시에 가진다.

$$f=\frac{3\times10^8\ \mathrm{m/s}}{6.3\times10^{-7}\ \mathrm{m}}=\left(\frac{3}{6.3}\right)\times10^{15}\ \mathrm{s^{-1}}$$

$$E=hf=6.6\times10^{-34}\ \mathrm{J\cdot s}\times\left(\frac{3}{6.3}\right)\times10^{15}\ \mathrm{s^{-1}}=3.14\times10^{-19}\ \mathrm{J}$$

6. 에너지띠 사이의 에너지 차를 말한다.
7. 압전 소자란 역학적 에너지를 전기 에너지로 변환하거나 전기 에너지를 역학적 에너지로 변환하는 소자를 말한다.
8. 초전도체 내부 자기장은 0이 된다.
9. ③

   고온 초전도체는 임계 온도가 상대적으로 높은 초전도체를 말한다.
10. a=c>b=d

    도선에 흐르는 전류에 의해 형성되는 자기장은 도선에서의 거리 제곱에 반비례하고 전류의 세기에 비례한다. 거리는 모두 같으므로 전류의 세기와 자기장의 방향만을 고려하면 된다. 지면을 뚫고 나오는 방향을 (+)로 할 때 각 지점에 형성되는 자기장은 a는 2+1, b는 (−2)+1, c는 (−2)+(−1), d는 2+(−2)의 상대적 값을 가진다. 크기만을 비교하면 a=c>b=d가 된다.
11. (가) ㄴ, (나) ㄷ, (다) ㄱ

단원평가 162~165쪽

1. 알 수 없다. 음으로 대전되어도 서로 당기지만 왼쪽 공이 유전 분극 되어도 서로 당길 수 있다. 추가로 오른쪽에 중성인 물체를 가져가서 서로 당기면 왼쪽 공은 음으로 대전된 것이고, 오른쪽에 음으로 대전된 물체를 가져가서 서로 당기면 왼쪽 공은 중성임을 판단할 수 있다.
2. $q(Q-q)$가 최대가 되는 값을 찾으면 된다. $q=Q-q$일 때 최대가 된다. 그러므로

   $2q=Q$이므로 $q=\dfrac{Q}{2}$
3. 자석 내부에서는 S극에서 N극으로 향하는 방향으로 자기장이 생긴다. N극에서 나가는 방향과 S극으로 들어오는 방향의 자기력선을 이어 하나의 폐곡선을 만들도록 자기력선을 그린다.
4. 가시광선은 전자기파의 한 종류로 매질 없이도 전달될 수 있다.
5. $c=f\lambda$이므로

   $3\times10^8\ \mathrm{m/s}=f\times630\times10^{-9}\ \mathrm{m}$

Ⅲ 정보와 통신

1. 소리와 빛

172~217쪽

물음

1. (1) 밀한 부분은 공기 입자가 진하게 그려진 부분이고, 소한 부분은 밝게 그려진 부분이다.

   (2) 소리의 파장은 밀한 곳에서 밀한 곳, 또는 소한 곳에서 소한 곳까지의 거리이다.
2. 소리의 속력은 약 340 m/s이다. 따라서 3초 후에 소리가 들렸다면 번개가 친 곳까지의 거리는 340 m/s×3 s=1020 m 정도이다.
3. −20℃일 때 소리의 속력은

   $v=331.45+0.6\times(-20)=331.45-12=319.45(\mathrm{m/s})$이다.

   20℃일 때 소리의 속력은

   $v=331.45+0.6\times20=331.45+12=343.45(\mathrm{m/s})$이다.
4. (1) $T=\dfrac{1}{f}=\dfrac{1}{2\times10^6\ \mathrm{Hz}}=5\times10^{-7}\ \mathrm{s}$이다.

   (2) 파장이 길면 회절이 잘 일어나기 때문이다.

회절이 잘 일어나면 파동이 잘 퍼진다는 것을 의미하므로 화상이 흐려지게 된다.

(3) 좋은 화상을 얻기 위해 짧은 파장을 이용하면 몸에서 흡수율이 높아진다.
몸속 깊은 곳을 검사할 때에는 짧을 파장을 사용하기 어렵다. 그러나 눈과 같이 깊이가 깊지 않은 경우에는 상대적으로 짧은 파장의 초음파를 사용할 수 있다.

(4) 2 cm 속으로 들어갈 때마다 약 50%씩 세기가 감소한다고 하였으므로, 4 cm 속으로 들어가면 약 25%로 세기가 감소할 것이다.

5. 그림 (가)와 같이 가로축을 거리로 나타낸 경우에는 마루에서 마루까지의 거리는 파장에 해당한다.
그림 (나)와 같이 가로축을 시간으로 나타낸 경우에는 마루에서 마루까지의 거리는 주기에 해당한다.

6. 첫 번째 추만 흔들면 4개의 추를 연결하는 수평 줄도 함께 흔들리게 된다. 이 흔들림에 의해 나머지 다른 추들도 흔들게 된다. 그런데 첫 번째 추가 흔들릴 때의 주기는 3번째 추의 고유 주기와 일치한다. 따라서 공명이 일어나면서 세 번째 추의 흔들림이 점점 커지게 된다. 이때 고유 주기가 다른 두 번째와 네 번째 추는 거의 흔들림이 없다.

7. (1) 표 Ⅲ-2를 보면 440 Hz는 '라' 음에 해당한다.

(2) '라' 음과 '시' 음은 2음계 차이가 난다.
따라서 $440 \times 1.06 \times 1.06 =$ 약 494 Hz이다. 표 Ⅲ-2를 보면 '시' 음의 진동수가 493.9 Hz로 나와 있다.

(3) 262 Hz와 350 Hz, 440 Hz를 262로 나누면 1:1.36:1.68이 된다. 다시 3을 곱해 보면, 3:4:5가 되므로 화음을 이룰 수 있다. 이 음들은 '도파라'에 해당한다.

8. (1) 자석, 자석 ······ 순서(2)
(2) 방향 ······ 순서(5)
(3) 교류 ······ 순서(4)
(4) 공기 ······ 순서(8)
(5) 영구 자석 ······ 순서(3)
(6) ······ 순서(7)
(7) 크기와 방향이 변하기 ······ 순서(6)
(8) 전류 ······ 순서(1)

9. (1) $v = f\lambda$이므로, $3 \times 10^8 \text{ m/s} = f \times (500 \times 10^{-9} \text{ m})$이다.
따라서 $f = \dfrac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{500 \times 10^{-9} \text{ m}} = 6 \times 10^{14} \text{ Hz} = 600 \text{ THz}$이다.

(2) 표 Ⅲ-4를 참고하면, 녹색에 해당된다.

10. (1) 막대 세포 – 막대 모양, 약 1억 2천만 개, 명암을 감지. 감지 능력이 뛰어나 어두운 곳에서도 잘 작동
원뿔 세포 – 원뿔 모양, 약 650만 개, 색을 감지, 감지 능력이 떨어져 어두운 곳에서는 색을 잘 감지 못한다.

(2) 원뿔 세포에는 세 가지 종류가 있어, 각각 빨간색, 녹색, 파란색을 잘 감지한다. 빨간색과 녹색을 감지한 경우에는 노란색으로 인식한다.

(3) 우리 눈은 700만 개의 색을 구별하여 인식할 수 있다. 그중에서 가장 잘 감지하는 색은 555 nm의 녹색 계열 빛이다.

확인하기

1. (1) 같은 스프링에 질량이 작은 추가 진동하면(첫 번째 그림), 빠르게 진동하여 주기가 크다. 마찬가지로 이산화탄소보다 헬륨기체인 경우에 진동이 빨리 일어나고 따라서 소리가 더 빠르게 전달된다.

(2) 같은 질량의 추를 탄성계수가 큰 스프링에 매달려 진동시키면(두번째 그림), 탄성력이 크게 작용하여 빠르게 진동하여 진동수가 크다. 마찬가지로 기체나 액체보다 고체는 압축되기 어려운 물질로 진동이 빠르게 일어나고, 따라서 소리가 더 빠르게 전달된다.

2. ①, ②, ④
① 소리는 진동수가 클수록 높은 소리가 난다.
② 줄이 짧으면 줄에서의 속력은 일정한데, 파장이 짧으므로 진동수가 커진다. 따라서 높은 소리가 난다.
③ 줄이 굵으면 질량이 커지므로 관성이 커서 줄의 진동이 느려진다.
④ 줄의 장력이 크면 복원력이 커지므로 진동이 빨리 일어난다.

3. 262 Hz
3음계가 높으므로 $220 \text{ Hz} \times 1.06 \times 1.06 \times 1.06 = 262 \text{ Hz}$가 된다.

4. 스피커에는 원형 모양의 영구 자석 주위에 코일이 움직일 수 있도록 되어 있다. 코일에 전류가 흐르면 코일이 자석이 되므로 영구 자석에 의해 끌리거나 밀린다. 코일에 흐르는 전류의 방향과 크기에 따라 밀리거나 끌려 진동하면서 소리가 난다.
만일 스피커 앞에서 말을 하면 영구 자석 주위에서 코일이 진동하게 된다. 그러면 패러데이 법칙에 의해 코일에 유도 전류가 생긴다. 이러한 유도 전류를 앰프를 통해 증폭시키면 큰 소리가 난다.

5. (1) 전자, (2) 전자, (3) 진동수, (4) 전자, (5) 에너지, (6) 전자, (7) 전자

6. 모니터에는 빨간색(R), 초록색(G), 파란색(B) 빛을 내는 3개의 화소로 구성되어 있다. 만일 R와 G만 켜지고, B가 꺼져 있으면 노란색으로 보인다. 이러한 방식으로 RBG 화소의 밝기를 조절하면서 켜면 수백만 가지의 색을 구현할 수 있다. 이때 색의 밝기는 0~255단계로 조절할 수 있다.

2. 정보의 전달과 저장

220~257쪽

물음

11. CD의 정보는 인쇄된 표면 바로 밑에 있는 플라스틱에 홈에 의해 저장되어 있다. 따라서 인쇄된 표면에 흠이 나면 바로 밑에 있는 홈에도 흠이 날 수 있으므로 정보가 손상될 수 있다.

확인하기

1. ①, ②, ④

① 맥스웰은 전자기파에 대한 방정식을 만들었고, 방정식을 풀어 전자기파의 속력을 구해 본 결과, 전자기파의 속력이 빛의 속력과 같다는 것을 알게 되었다.

② 빛의 에너지는 진동수에 비례한다. 따라서 노랑색보다 초록색이 진동수가 크므로 에너지가 높다.

③ 빛은 파동이므로 방해물을 만나면 회절을 한다. 이때 빛의 파장이 길수록 회절이 잘 일어난다. 적외선은 자외선보다 파장이 길므로 적외선이 회절이 잘 일어난다.

④ 전자기파는 파동이지만 매질이 필요없다.

⑤ 전자기파는 진공에서 가장 빠르고, 매질 속에 들어가면 속력이 느려지면서 파장이 길어진다. 진동수는 변함없다.

2. 윗(㉠), 아래(㉡), ①, 수직

3. 8.8 pF

$f=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 이다. 따라서

$C=\dfrac{1}{4\pi^2 f^2}\times\dfrac{1}{L}=\dfrac{1}{4\pi^2(1200\times10^3)^2}\times\dfrac{1}{(2\times10^{-3})}$

$=\dfrac{1}{4\pi^2\times12\times12\times2}\times10^{-7}$ F이다.

이것을 계산해 보면, $C=8.8\times10^{-12}$ F$=8.8$ pF

4. 자기 테이프에서는 외부 자기장에 의해 정보를 저장하고, F램에서는 외부 전기장에 의해 정보를 저장한다는 점에서 차이가 있다. 그러나 저장된 정보는 전원이 꺼져도 계속 유지된다는 점에서 유사하다.

5. (나)




두 번째 사진을 보면, 입사각보다 굴절각이 더 크다. 따라서 두 번째 그림에서 입사각을 크게 하면 굴절각이 90°가 되게 된다. 그러면 그때의 입사각보다 커지면 더 이상 굴절되는 빛이 없게 된다.

단원평가

212~282쪽

1. ①, ②, ⑤

① 소리는 파장이 길수록 회절이 더 잘 일어난다.

② 여름날 지표면 근처에는 온도가 올라간다. 그러면 소리의 속력이 빨라진다. 따라서 온도가 낮아 소리의 속력이 느려지는 윗방향으로 휘게 된다.

③ 찬 공기에서는 소리의 속력이 느려진다. 이때 진동수는 변화가 없으므로 파장이 짧아지게 된다.

④ 계산적으로는 맞으나, 영하 270도에서는 공기가 기체 상태를 유지할 수 없으므로, 위 공식을 그대로 적용할 수 없다.

⑤ 온도가 올라가면 공기 입자의 열적 운동이 활발해진다. 그러면 진동도 빨라지므로 소리의 속력이 빨라진다.

2. ① F_1 ② A_2 ③ $A_2\times F_1$ ④ l_2F_2

압력 $P=\dfrac{F}{A}$이므로 식 ①의 괄호 안에는 F_1이다.

마찬가지로 식 ②의 괄호 안에는 A_2이다.

식 ①과 식 ②를 이용하면 식 ③의 괄호 안에는 $A_2\times F_1$이 들어가야 한다.

지레의 원리에 의하면, 식 ④의 괄호 안에는 l_2F_2가 옳다.

식 ④에 의하면 $F_2=\dfrac{l_1F_1}{l_2}$이고, $\dfrac{P_1}{P_2}=\dfrac{A_2F_1}{A_1F_2}$

$=\dfrac{A_2F_1}{A_1\dfrac{l_1F_1}{l_2}}=\dfrac{A_2l_2}{A_1l_1}$가 된다.

따라서, 모형에서 $l_1>l_2$이고, $A_1>A_2$이므로, $\dfrac{P_1}{P_2}<1$ 이 된다. 즉 $P_1<P_2$이므로 고막에 작용한 압력(P_1)보다 청신경에 작용하는 압력(P_2)이 더 크게 작용한다.

3. ②, ④

① 코일의 길이는 유도 기전력에 상관이 없다.

② 막대 자석의 진폭이 커지면 막대 자석이 코일에 들어갔다 나올 때 속력이 더 빠르다. 따라서 자기장의 변화가 더 커지므로 유도 전류가 더 많이 생긴다.

③ 막대 자석이 들어갈 때와 나올 때 유도 전류의 방향이 반대로 되므로, 코일에는 교류가 흐르게 된다.

④ 자석의 극이 바뀌면 유도 전류의 방향이 반대로 된다.

4. 전기 모터는 코일과 영구 자석으로 이루어져 있다. 코일에 전류가 흐르면서 코일이 자석이 되므로 영구 자석에 밀리거나 끌리면서 회전하는 것이다. 그런데 영구 자석 주위에서 코일이 회전하게 되면 패러데이 법칙에 의해 코일에 유도 전류가 생긴다. 이때 생기는 유도 전류는 코일에 흐르는 전류의 반대 방향으로 생긴다. 결과적으로 모터가 회전할 때에는 원래의 전류보다 작은 전류가 흐르게 된다. 따라서 억지로 모터의 회전을 막으면 유도 전

류가 생기지 않으므로 모터가 회전할 때보다 더 많은 전류가 흐르게 된다.

5. ③

음성 신호는 교류에 해당된다. 코일에 교류가 흐를 때 주파수가 높을수록 유도 리액턴스가 커져서 저항이 커진다. 따라서 (나)에 코일을 연결하면 높은 소리가 잘 흐르지 못하게 되어 스피커에서 높은 소리가 나지 않게 된다. 반대로 축전기에 교류가 흐를 때에는 주파수가 클수록 용량 리액턴스가 작아져서 저항이 작아진다. 따라서 (가)에 축전기를 연결하면 높은 소리는 저항이 작은 (가)로 흘러가게 되어 스피커에서는 높은 소리가 나지 않게 된다.

6. ①, ②, ③

① 라디오에서는 음성 신호가 포함되어 있어 전류의 방향과 크기가 계속 변화하는 교류이다.

② 2차 코일에 생기는 유도전류에 의해 랜턴의 밝기가 변화한다.

③ 1차 코일에 교류가 흐르면 1차 코일에 의한 자기장이 변화하고, 따라서 2차 코일에 유도전류가 생긴다.

④ 태양 전지에서는 빛에너지를 전기 에너지로 바꾼다. 패러데이 법칙은 자기장의 변화에 의해 유도 기전력이 생기는 경우이다.

7. ②, ③, ④, ⑤

① CD에는 작은 홈들이 있어 홈에서 반사된 빛과 홈이 없는 곳에서 반사된 빛이 소멸 간섭하도록 되어 있다.

② 자기 테이프에 배열된 작은 자석들이 코일을 지나가면 코일을 지나는 자기장이 변화하므로, 패러데이 법칙에 의해 코일에 유도전류가 생긴다.

③ 강유전체의 경우에는 전기장에 의해 정보를 저장하므로, 외부에 자석을 가까이 가져가도 정보가 손실되지 않는다.

④ 자기 테이프 안에는 작은 자석들이 들어 있고, 외부 자석에 의해 작은 자석들이 배열하게 된다.

⑤ 축전기는 각 금속판에 (+)전하와 (−)전하를 각각 저장할 수 있다. 그러나 전원이 끊어지면 전하들이 쉽게 방전된다. 그러나 강유전체의 경우에는 유전 분극이 된 후에 그 배열이 전원이 끊어져도 계속된다.

Ⅳ 에너지

1. 에너지의 발생

268~307쪽

물음

1. 자전거의 프레임은 금속으로 되어 있다. 이것이 전선 하나의 역할을 한다. 자동차에서도 마찬가지로 자동차 몸체를 하나의 전선으로 이용한다.
2. 전선에서 저항은 단면적에 반비례함으로 저항을 $\frac{1}{4}$배로 줄이기 위해 단면적은 4배로 증가시켜야 한다. 따라서 전선의 무게도 4배 증가한다.
3. 신 · 재생 에너지는 기존 에너지와 달리 이제까지 많이 사용되지 않았던 에너지나 재생 가능한 에너지를 의미한다. 또 신재생 에너지는 환경 파괴와 오염을 줄일 수 있는 에너지를 의미한다.

확인하기

1. 패러데이 법칙을 이용하여 발전을 하려고 할 때 $\varepsilon=-N\frac{\Delta(BA\cos\theta)}{\Delta t}$로부터 큰 기전력을 얻기 위해서는 공통적으로 감은 수 N이 많아야 한다. 그리고 다음 중 어느 하나, 또는 동시에 여럿이 변할 때 기전력을 얻는다.
   ① 자기장의 세기 B가 시간에 따라 변할 때
   ② 닫힌 회로의 도선 면적 A가 시간에 따라 변할 때
   ③ 단면적 A와 자기장 B가 만드는 각도가 시간에 따라 변할 때
   역학적 에너지를 이용하여 전기 에너지를 지속적으로 얻기 위해서는 역학적 운동을 주기적으로 반복하는 운동으로 바꾸어야 한다. 위의 ①과 ②에서는 자석이나 도선이 직선으로 빠르게 왕복해야 하는데 물체의 직선 관성 때문에 신속한 왕복 운동이 효율적으로 일어나기 어렵다. 반면 ③의 경우는 회전 운동만으로도 반복적으로 기전력을 발생할 수 있기 때문에 대부분 발전기에서 이 방법을 사용하고 있다.
2. 에너지를 효율적으로 이용하기 위한 것이다. 증기 터빈을 이용한 화력 발전은 에너지의 40%만 전기 에너지를 생산하는데 사용되고 나머지는 대기나 하천으로 버려진다. 따라서 가스터빈을 이용하여 발전을 하고, 가스터빈에서 나온 높은 열로 물을 끓여 증기 터빈을 돌리고, 이때 나오는 뜨거운 물은 도시의 난방으로 사용하는 복합 화력 내지 열병합 발전이 에너지를 효율적으로 사용할 수 있게 만든다.
3. 조력은 대규모 간척 사업을 통한 바닷물의 확보가 이루어져야 경제성 이 확보된다. 원자력은 시설 기간이 길고, 공정이 매우 까다롭기 때문에 시설비가 매우 많이 든다. 그러나 일단 시설이 갖추어지고 나면, 다른 에너지원에 비해 에너지원 조달 비

용이 매우 적게 든다. 조력은 에너지원 확보 비용이 거의 들지 않으며, 원자력은 발전 단가가 화력보다 매우 싸다.

4. 입지 조건이 매우 제한되어 있어서 아무 곳에나 지을 수 없다. 조력 발전은 조수간만의 차가 커야 하기 때문에 세계적으로 가능한 곳이 얼마 되지 않는다. 풍력 발전은 바람의 양과 질이 발전에 적절해야 경제성이 있다. 또한 소음 문제로 인구 밀집 지역에는 설치하기 어렵다.

5. 신 · 재생 에너지가 항상 환경 친화적인 것은 아니다. 석탄액화 및 가스화나 바이오 펠릿은 여전히 탄소 가스를 배출하게 된다. 또한 소각열을 이용한 폐기물 에너지 역시 탄소 가스 뿐 아니라 환경오염 물질도 배출한다. 조력이나 파력 발전, 소수력 발전의 경우 일정 부분 해양 생태계 파괴가 뒤따른다.
이러한 신 · 재생 에너지를 기존 에너지원보다 환경 오염, 탄소 가스 배출, 환경 파괴를 최소화 할 수 있는 대안적 방법으로 활용해야 한다.

2. 힘과 에너지의 이용

310~367쪽

물음

4. (1) 밀도의 식 $\rho=\dfrac{M}{V}$ 로부터 $\rho=\dfrac{1\ \text{kg}}{0.92\times10^3\ \text{kg/m}^3}$ $=1.09\times10^{-3}\ \text{m}^3$가 된다.

(2) 4 ℃에서 밀도는 1000 kg/m^3이므로 $10^{-3}\ \text{m}^3$가 된다.

5. (1) $\rho=\dfrac{M}{V}$ 로 부터 $\rho=\dfrac{2\ \text{kg}}{10^{-3}\ \text{m}^3}=2.0\times10^3\ \text{kg/m}^3$가 된다.

(2) 금속의 밀도가 액체의 밀도보다 크므로 금속은 액체에 모두 잠기게 된다. 부력은 잠긴 부분의 해당하는 액체의 무게이므로 부력$=(1.5\times10^3\ \text{kg/m}^3)\times10^{-3}\ \text{m}^3\times10\ \text{m/s}^2$ $=15$ N이다.

(3) 공기 중 무게는 $2\ \text{kg}\times10\ \text{m/s}^2=20$ N이고, 부력이 15 N이므로 물속에서 무게는 5 N이다.

6. 은박지는 몸에서 방출하는 적외선을 반사한다. 은박지를 몸에 감싸면 몸에서 밖으로 발산하는 적외선 형태의 열에너지를 줄일 수 있다.

7. 안전사고

(1) 고장 난 형광등은 깨뜨리지 말고 아파트 단지나 동네에 있는 폐형광등 수거함에 조심스럽게 가져다 놓는다. 폐형광등 수거함이 없는 경우 형광등을 판매하는 전기상에 가져다주면 형광등 제조업체에서 수거해 간다.

(2) 깨진 형광등을 진공 청소기로 처리하면 수은 증기가 청소기 필터를 빠져나와 방 안 전체로 확산되게 할 수 있다. 따라서 다음과 같이 처리한다.

① 실내에서 형광등이 깨지면 즉시 실내의 모든 사람을 밖으로 내보내고 모든 창문을 열어 적어도 1시간 이상 환기시킨다.

② 깨진 형광등의 유리 조각을 비닐봉지에 조심스럽게 잘 넣는다. 이때 유리 조각에 찔리지 않도록 하며, 남아 있는 유리 조각이 없도록 잘 수거한다.

③ 젖은 걸레나 물에 적신 주방용 종이 타월로 바닥을 닦아 낸다.

④ 닦아낸 걸레나 종이 타월을 깨진 형광등과 함께 비닐봉지에 넣고 다시 한 번 비닐봉지에 넣고 밀봉한다.

⑤ 쓰레기 처리 봉투에 잘 넣어 즉시 폐기한다.

확인하기

1. ③
자신 몸의 부피를 V, 질량을 M이라고 하자. 물의 밀도와 같았을 때
$\dfrac{42{,}000\ \text{g}}{V+1500\ \text{cm}^3}=1\ \text{g/cm}^3$에서 $V=40{,}500\ \text{cm}^3$
따라서 몸의 밀도는 $\dfrac{42{,}000}{40{,}500}=1.04\ \text{g/cm}^3$

2. ②
$e=\dfrac{W}{Q_\text{h}}=\dfrac{1}{3}$

3. ③
LED는 같은 밝기를 내는 데 백열전구가 소비하는 에너지의 30%만 필요하다. 75 W 백열전구 밝기에 대해 LED는 75 W$\times0.3=22.5$ W의 에너지이면 같은 밝기를 낸다.
백열전구는 소비 에너지의 8%를 빛으로 사용한다. 따라서 75 W 백열전구가 빛으로 사용한 에너지는 75 W$\times0.08=6$ W이고, 같은 밝기의 LED는 22.5 W 중 20%를 빛으로 바꾼다. 따라서 22.5 W$\times0.2=4.5$ W
즉, 백열전구가 빛으로 사용하는 에너지가 6 W일 때, LED는 4.5 W이면 같은 밝기를 내는 데 충분하다.

4. ⑤
$1\ \text{kg}\times(3.33\times10^5\ \text{J/kg}+2.26\times10^6\ \text{J/kg}+4186\ \text{J/kg}\cdot{}^\circ\text{C}\ \times20^\circ\text{C})=2.68\times10^5\ \text{J}$

단원평가

368~371쪽

1. ①
$\varepsilon=-N\dfrac{\Delta(BA\cos\theta)}{\Delta t}$ 로부터 감은 수 $N=1$에 초당 반원의 면적 $\dfrac{\pi R^2}{2}$만큼 주기적으로 변하고, 이때 자기장

의 세기는 2.97×10^{-5} T이다. 따라서 $\pm3.14\times8\ \text{m}^2\times2.97\times10^{-5}$ T이다. $\therefore V=\pm0.75$ mA

2. ⑤

전력 $P=IV$로부터 $I=\dfrac{3500\ \text{W}}{220\ \text{V}}=15.9\ \text{A}$

3. ⑤

$PV=Nk_BT$로부터 $P=1.50\times10^5$ Pa,
$V=1.00\times10^{-3}\ \text{m}^3$, $T=293.15$ K를 대입하면

$$Nk_B=\frac{1.50\times10^5\ \text{Pa}\times1.00\times10^{-3}\ \text{m}^3}{293.15\ \text{K}}$$
$$=0.51\ \text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2\cdot\text{K},$$

$P=1.013\times10^5$ Pa, $V=2.00\times10^{-3}\ \text{m}^3$이 되면

$$T=\frac{1.013\times10^5\ \text{Pa}\times2.00\times10^{-3}\ \text{m}^3}{0.51\ \text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2\cdot\text{K}}=395.95\ \text{K}$$

따라서 온도는 약 123℃

* 다른 방식의 계산

이 과정에서 입자의 수는 변하지 않기 때문에

$Nk_B\dfrac{PV}{T}=\dfrac{P'V'}{T'}$으로부터

$$T'=\frac{P'V'}{PV}T$$
$$=\frac{1.013\times10^5\ \text{Pa}\times2.00\times10^{-3}\ \text{m}^3}{1.50\times10^5\ \text{Pa}\times1.00\times10^{-3}\ \text{m}^3}\times293.15\ \text{K}$$
$$=395.95\ \text{K}$$

4. 1 MeV$=1.602\times10^{-13}$ J이므로 운동 에너지

$E_k=\dfrac{1}{2}mv^2=35\times1.602\times10^{-13}$ J로부터 α 입자의 질량이 수소 원자핵의 질량 1.67×10^{-27} kg의 4배이므로

$$v^2=\frac{2\times35\times1.602\times10^{-13}\ \text{J}}{4\times1.67\times10^{-27}\ \text{kg}}$$
$$=\frac{112.14\times10^{-13}\ \text{J}}{6.68\times10^{-27}\ \text{kg}}=16.79\times10^{14}\,(\text{m/s})^2$$

따라서 α 입자의 속력은 $v=4.10\times10^7$ m/s이다.

5. ④

1 Wh$=1$ J/s$=3600$ s$=3.6\times10^3$J에 해당하므로 연간 서울시가 필요로 하는 에너지를 J로 환산하면
$4.5\times10^{13}\ \text{Wh}=4.5\times10^{13}\times3.6\times10^3\ \text{J}=1.62\times10^{17}\ \text{J}$이다.

$^{235}_{92}$U의 235 g이 낼 수 있는 에너지가 1.89×10^{13} J이므로

235 g의 $\dfrac{1.62\times10^{17}\ \text{J}}{1.89\times10^{13}\ \text{J}}=8.57\times10^3$배가 필요하다.

따라서 $(235\times10^{-3}\ \text{kg})\times(8.57\times10^3)=2.01\times10^3$ kg이다. 즉 필요한 양은 약 2톤이다.

6. ⑤

한 달에 사용하는 전기 에너지는

$1.5\ \text{kW}\times\dfrac{1}{6}\text{h}\times30$일$=7.5$ kWh이다.

따라서 사용 요금은 7.5 kWh×60원/kWh=450원이다.

7. ⑤

바람이 지닌 초당 운동 에너지는 $E=\dfrac{\pi}{2}\sigma R^2v^3$이므로

$$E=\frac{\pi}{2}\times(1.29\ \text{kg/m}^3)\times(5\ \text{m})^2\times(5\ \text{m/s})^3$$
$$=6.33\times10^3\ \text{W}$$

8. ③

태양 전지 패널의 면적은 170 cm×100 cm$=1.7\ \text{m}^2$이며, 여기에 받는 초당 태양 에너지는 $1.7\ \text{m}^2\times1.4\ \text{kW/m}^2\times0.7=1.666$ kW이다. 에너지 변환 효율이 12%이므로 태양 전지에서 발전되는 전력은 1.666 kW×0.12=199.92 W이다. 따라서 약 200 W이다.

9. ②

얼음과 물을 합친 밀도가 식용유보다 무거워질 때 얼음 조각이 가라앉기 시작한다. 얼음이 xg만큼 녹아 물이 되었다면

$\rho_{물}=\dfrac{x}{V_{물}}$, $\rho_{얼음}=\dfrac{10-x}{V_{얼음}}$에서 얼음과 물 전체의 밀도는 식용유 밀도보다 커야 한다.

$$\rho_{물+얼음}=\frac{m_{물}+m_{얼음}}{V_{물}+V_{얼음}}=\frac{10\ \text{g}}{\dfrac{x}{\rho_{물}}+\dfrac{10-x}{\rho_{얼음}}}$$
$$=\frac{10\ \text{g}}{\dfrac{x}{1.000\ \text{g/cm}^3}+\dfrac{10\ \text{g}-x}{0.917\ \text{g/cm}^3}}$$
$$=\frac{10\ \text{g}}{x+\dfrac{10\ \text{g}-x}{0.917\ \text{g/cm}^3}}>0.935\ \text{g/cm}^3$$

$x\left(1-\dfrac{1000}{917}\right)+\dfrac{10000}{917}<\dfrac{10000}{935}$으로부터

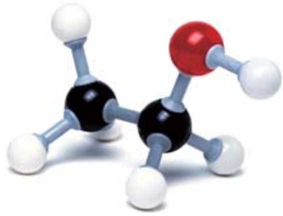
$$\frac{83}{917}x>10000\left(-\frac{1}{917}-\frac{1}{935}\right)$$

$$x>\frac{917}{83}\times\frac{18\times10^4}{917\times935}=2.32\ \text{g}$$

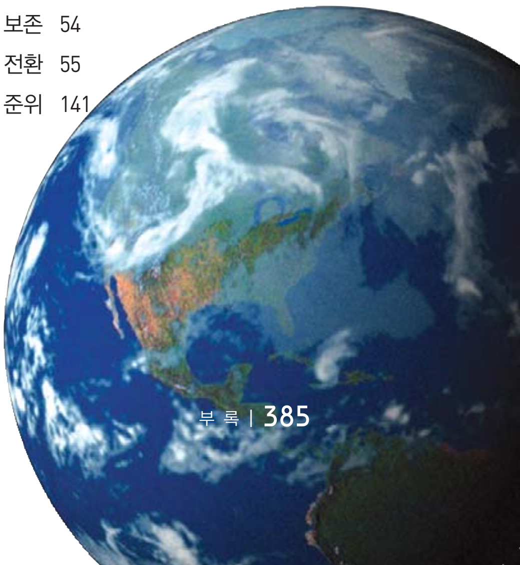
즉, 얼음이 2.32 g만큼 녹아 물이 되면 얼음 조각은 가라앉기 시작한다.

부록
찾아보기









찾아보기





ㅊ

ㅋ

ㅌ

ㅍ

ㅎ



과학 추천 도서 목록

단원 공통

- 청소년을 위한 서양과학사 | 두리미디어 | 손영운 | 2004
- 파인만의 여섯 가지 물리이야기 | 승산 | 리처드 파이만(박병철 역) | 2003
- 최무영 교수의 물리학 강의 | 책갈피 | 최무영 | 2008
- 물리 법칙으로 이루어진 세상 | 양문 | 정갑수 | 2007
- 노벨상이 만든 세상(물리학) | 나무의꿈 | 이종호 | 2004

Ⅰ 단원

- 끝없는 우주 : 빅뱅 이론을 넘어서 | 살림 | 폴 스타인하트, 닐 투록(김원기 역) | 2009
- 누구나 이해할 수 있는 상대성 이론 | 뉴턴코리아 | 일본 뉴턴 프레스 | 2009
- 최초의 3분 | 양문 | 스티븐 와인버그(신상진 역) | 2005
- 블랙홀과 시간 굴절 | 이지북 | 킵S. 손 | 2005
- 힘과 운동 뛰어넘기 | 동아사이언스 | 한국물리학회 | 2005

Ⅱ 단원

- 보어가 들려주는 원자 모형 | 자음과 모음 | 곽영직 | 2010
- 전기와 자기 밀고 당기기(속 보이는 물리) | 동아사이언스 | 한국물리학회 | 2006
- 열정과 야망의 전기 이야기 | 대영사 | 김석환 | 2010
- 전기 전자란 무엇인가 | 골든벨 | 조한철 외 | 2009
- 반도체 제대로 이해하기 | 지성사 | 강구창 | 2005

Ⅲ 단원

- 정보 통신 WHY? | 예림당 | 조영선 | 2008
- 빛과 색의 신비 | 한울림 | 쿠와지마 미키(이규원 역) | 2003
- 빛과 파동 흔들기(속 보이는 물리) | 동아사이언스 | 한국물리학회 | 2006
- 전자기파란 무엇인가 | 전파과학사 | 고토 나오히사 | 1985

Ⅳ 단원

- 마리 퀴리의 위대한 유산 : 방사선과 현대생활 | 미래의창 | 앨런 월터(김재희외 역) | 2006
- 왜 건물은 지진에 무너지지 않을까 | 다른출판사 | 마리오살바도리(송민경 역) | 2009
- 신 · 재생 에너지 | 김영사 | 손재익, 강용혁 | 2009
- 물리와 세상 | 에코리브르 | 토마스 뷔르케(전대호 역) | 2009

참고문헌 및 사진출처

참고문헌

Ⅰ. 시공간과 우주

위대한 설계, 스티븐 호킹, 레오나르드 믈로디노프, 까치, 2010

PSSC 물리 실험지도서, PSSC 물리 번역위원회, 탐구당, 1995

Cosmic Frontiers of General Relativity, Kaufmann, William J. Little, Brown and Company, 1977

Conceptual Physics, Paul Hewitt, Addison Wesley, 2010

The Grand Design, Stephen Hawking and Leonard Mlodinow, Bantam, 2010

General Relativity, Robert Wald, TheUniversity of Chicago Press, 1984

Fundamentals of Physics, David Halliday 외, John Wiley&Sons, 2009

Ⅱ. 물질과 전자기장

Advancing Physics AS, Bristol and Philadelphia, Institute of Physics Publishing, 2000

일반물리학, M. Alonso and E. Finn 저, 부산대학교 물리학 교재편찬위원회 역, 반도출판사, 1992

물리학의 이해, Griffith 저, 물리학교재편찬위원회 역, 북스힐, 1999

기초 초전도 물리학, A.C. Rose-Innes and E. H. Rhoderick 저, 김영철, 정대영 역, 겸지사, 1992

천병수, 유종수, 마사키 다까끼 공저(2010). 물질과학의 이해, 유한문화사

고체물리학 8판, C. Kittel 저, 우종천 외 역, 범한서적주식회사, 2007

Ⅲ. 정보와 통신

물리학습과 지도를 위한 상황물리(COPHY) 모듈의 개발, 김익균외 3, 교과교육공동연구지원사업 연구 보고서, 2001

첨단 과학을 이용한 과학적 창의성 프로그램 개발 및 보급, 박종원 외, 한국과학창의재단, 2009

새로운 물리 탐구의 세계, 박종원, 이강길, 청문각, 2005

물리 시범 장치의 개발과 탐구 활동에의 적용, 박종원, 정병훈, 한국물리학회, 1993

보면서 생각하는 물리시범, 박종원, 전남대학교 출판부, 1997

사이언티픽 아메리칸. (김미화, 김세중 공역). (2001). 첨단 기기들은 어떻게 작동되는가. 서울: 서울문화사.

Simple photovoltaic cells for exploring solar energy concepts, Appleyard, S. J., Physics Education, 2006

Back-of-the-Envelope Physics. Maryland, Swartz, C., The Johns Hokins University Press, 2003

Ⅳ. 에너지

대학물리학, RAYMOND A.SERWAY 저, 대학물리학 교재편찬위원회, 2009

물리학의 이해, Griffith 저, 물리학교재편찬위원회 역, 북스힐, 1999

J. B. Marion 저, 김정구 외 공역(1984). 대학 기초물리학 3판, 탐구당.

phtsics; calculus 2판 Eugene Hecht

Conceptual Physics, Paul Hewitt, Addison Wesley, 2010

Advancing Physics AS, Bristol and Philadelphia, Institute of Physics Publishing, 2000

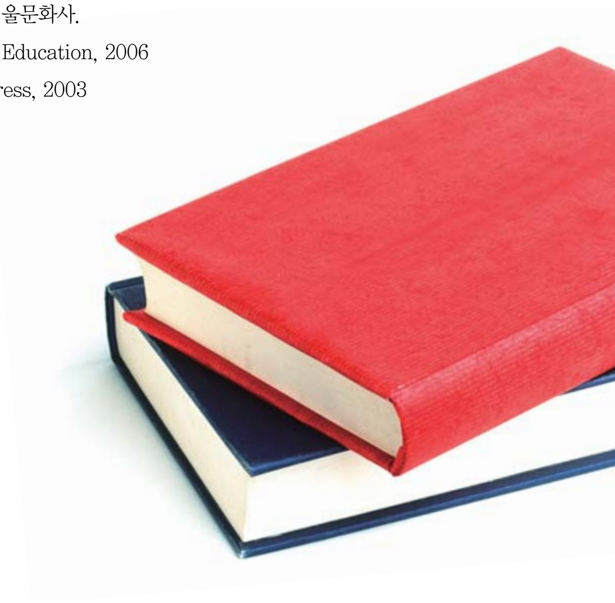


사진 출처

- 11쪽 우 http://www.flickr.com
- 16쪽 하 http://www.flickr.com
- 18쪽 표준과학 연구원
- 24쪽 http://apod.nasa.gov
- 28쪽 좌 http://news.hyundai-kiamotors.com
- 40쪽 상 http://www.alibaba.com
- 43쪽 하 타임스페이스
- 49쪽 하 http://i259.photobucket.com
- 53쪽 좌 http://www.dkls.com.
- 57쪽 http://demos.phy.duke.edu
- 62쪽 하 문화재청
- 64쪽 보현산 천문대
- 72쪽 http://www.accessclarkcounty.com
- 75쪽 http://reference.findtarget.com
- 76쪽 http://www.immortalhumans.com
- 79쪽 http://www.nsf.gov
- 84쪽 하좌 http://www.welchco.com
- 93쪽 유럽 핵입자 연구소
- 120쪽 하 http://blog.teachersource.com
- 122쪽 우 http://lifeonshatsky.blogspot.com
- 124쪽 http://integritydesign.com
- 138쪽 하 http://th.physik.uni-frankfurt.de
- 147쪽 http://www.intel.com
- 150쪽 하좌 http://3rain.tistory.com
- 150쪽 하우 http://energyemp.com
- 151쪽 http://www.cs.cmu.edu
- 154쪽 하 http://www.msite.net
- 155쪽 http://tinkerish.com
- 171쪽 http://www.cas.vanderbilt.edu
- 173쪽 우 http://www.nanta.co.kr
- 177쪽 http://www.scmetro.info
- 178쪽 상 http://www.stieng.com
- 178쪽 하 http://hpchrisp.blogspot.com
- 181쪽 상 PHOTOSCIENCE
- 181쪽 하좌 http://www.icc107.com
- 181쪽 하우 http://www.sonica-us.com
- 182쪽 http://current.com
- 192쪽 상 phtsics; calculus 2판 Eugene Hecht저
- 193쪽 좌 http://www.emuseum.go.kr
- 193쪽 우 http://selectmusicsupplies.com
- 194쪽 http://qwickstep.com
- 195쪽 http://www.exo.net
- 198쪽 http://en.wikipedia.org
- 203쪽 상 http://www.aesystems.com
- 207쪽 http://www.digitalsystemcopiers.com
- 219쪽 상 http://rinyart.egloos.com
- 223쪽 상 http://laserpointerforums.com
- 223쪽 하좌 http://my.opera.com
- 223쪽 하우 http://www.sew-wrc.com
- 224쪽 좌 http://www.manufacturer.com
- 239쪽 http://rocky.digikey.com
- 242쪽 하 http://hyosang.kr/tc/89
- 243쪽 상 http://rfidroundup.blogspot.com
- 243쪽 중 http://kr.blog.yahoo.com
- 243쪽 하 http://blog.barcoding.com
- 244쪽 하중 http://www.samsung.com
- 247쪽 http://www.techvenkat.com
- 253쪽 하좌 http://siemax-cable-bill.en
- 253쪽 하우 https://naggama.co.kr
- 263쪽 상 http://www.avland.co.uk
- 263쪽 하 http://www.flickr.com
- 264쪽 동양 태양광 발전소
- 267쪽 하 http://home.scarlet.be
- 268쪽 하중 http://www.moonsung.co.kr
- 270쪽 상 http://www.hankookemi.co.kr
- 271쪽 좌 http://poscofuelcell.com
- 271쪽 우 GSfuelcell
- 272쪽 http://www.boazec.co.kr
- 273쪽 한국전력
- 275쪽 상좌, 하중 한국전력
- 276쪽 LS 전선
- 278쪽 상 http://www.keumoecc.com
- 278쪽 하 http://www.kseattle.com
- 282쪽 http://www.khnp.co.kr
- 287쪽 상좌 http://www.timetechtalk.com
- 287쪽 상우 http://www.total-fishing-tackle.com
- 288쪽 http://www.biologyreference.com
- 289쪽 하 http://onionesquereality.wordpress.com
- 291쪽 상 국가 핵융합 연구소
- 291쪽 하 http://imglib.lbl.gov
- 294쪽 상 http://www.cnwc-cctn.ca
- 296쪽 중 http://cetcsolar.en.ec21.com
- 296쪽 하 http://cetcsolar.en.ec21.com
- 341쪽 좌 http://thecoolgadgets.com
- 298쪽 http://energyvision.org
- 299쪽 상좌 현대자동차
- 299쪽 상중 http://arcolaenergy.com
- 299쪽 상우 http://www.flickr.com

• 299쪽 중좌 http://papundits.files.wordpress.com
• 299쪽 중중좌 http://biomassenergyjournal.com
• 299쪽 하좌 http://www.cangea.ca
• 299쪽 하중 수자원공사
• 299쪽 하우 http://www.usi.go.kr
• 300쪽 http://www.serrata.com.au
• 302쪽 상좌 http://cdn.venturebeat.com
• 302쪽 상중 http://www.sitesplus.co
• 302쪽 하 http://kr.blog.yahoo.com
• 304쪽 하 수자원공사
• 308쪽 http://historicspacecraft.com
• 314쪽 중좌 http://www.allfordmustangs.com
• 314쪽 하좌 http://jalopnik.com
• 315쪽 http://www.flickr.com
• 320쪽 http://www.astro.virginia.edu
• 326쪽 상 http://www.scientific-web.com
• 329쪽 상 http://www.seriouswheels.com
• 329쪽 중 http://www.propipe.es
• 329쪽 하 http://www.flickr.com
• 332쪽 상 http://beasleysplace.blogspot.com
• 332쪽 중 http://www.2ic.tw
• 332쪽 하좌 http://blogs.waaf.com
• 332쪽 하우 http://www.airborne.com
• 337쪽 하 http://catalogue.museogalileo.it
• 347쪽 좌 http://www.webexhibits.org
• 354쪽 상 http://blog.paran.com/kangjoomo
• 354쪽 하(가) http://www.himfr.com
• 354쪽 하(나) http://endless-sphere.com
• 354쪽 하(다) http://www.newscaletech.com
• 354쪽 하(라) http://www.easy2bid.com
• 357쪽 상 http://elecauto.org
• 357쪽 하좌 http://www.squidoo.com
• 357쪽 하우 http://www.ctnt.co.kr (주)씨티앤티
• 358쪽 상 현대자동차
• 358쪽 중상 general motors
• 358쪽 중하, 하 현대자동차
• 359쪽 우 http://qwickstep.com
• 363쪽 http://www.newenergyworldnetwork.com
• 364쪽 상 njgaoqiao.en.alibaba.com
• 364쪽 중 http://blog.paran.com/kangjoomo
• 364쪽 하중 삼성전자
• 364쪽 하우 http://gallery.carreview.com
• 365쪽 http://www.rmrco.com
• 372쪽 General Motors
• 372쪽 상 http://www.hydrogenassociation.org
• 373쪽 상 http://www.seriouswheels.com
• 373쪽 중 http://www.caradvice.com.au
• 373쪽 하 http://historicspacecraft.com
• 면지 연합뉴스, 위키피디아, http://www.navy.mil
한국전력, http://www.incheonbridge.com

• 유로크레온

19쪽 중, 19쪽 하, 38쪽 하, 39쪽 상, 40쪽 하, 50쪽 좌, 61쪽 하, 74쪽, 84쪽 상, 84쪽 하우, 105쪽 하, 109쪽, 119쪽 하, 131쪽 상, 138쪽 상, 159쪽, 171쪽, 171쪽, 227쪽, 254쪽 상, 261쪽, 316쪽, 318쪽 좌, 326쪽 하, 349쪽 상

• 연합뉴스

14쪽, 19쪽 상, 29쪽, 48쪽 하, 49쪽 상, 50쪽 우, 53쪽 우, 82쪽, 101쪽, 158쪽, 167쪽, 172쪽, 185쪽, 222쪽, 224쪽 우, 225쪽 하, 236쪽, 275쪽 상우, 287쪽 하, 289쪽 상, 341쪽 우, 301쪽 상좌, 317쪽, 318쪽 우, 323쪽, 327쪽, 333쪽, 349쪽 중, 353쪽, 364쪽 하좌

• 게티이미지

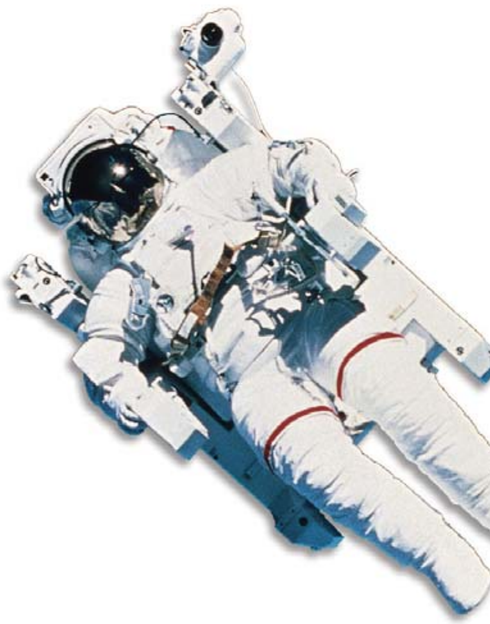
48쪽 상, 48쪽 중, 136쪽, 165쪽, 166쪽, 168쪽, 170쪽, 223쪽 상, 223쪽 중좌, 223쪽 중우, 262쪽, 266쪽

NASA

10쪽, 61쪽 중, 62쪽 상, 66쪽, 80쪽 상, 80쪽 하좌, 80쪽 하우, 87쪽, 90쪽, 94쪽, 99쪽, 296쪽 상, 337쪽 상

• 위키피디아

28쪽 우, 119쪽 상, 137쪽, 139쪽 상, 143쪽, 154쪽 상, 209쪽 우상, 209쪽 우하, 231쪽 상, 234쪽, 238쪽, 241쪽, 244쪽 하좌, 268쪽 상, 294쪽 하, 295쪽, 301쪽 상우, 301쪽 하, 302쪽 상우, 304쪽 상, 309쪽, 310쪽 상, 314쪽 하우, 319쪽, 335쪽, 336쪽, 359쪽 좌, 360쪽 하, 362쪽, 372쪽 하



• 위에 기재되지 않은 자료는 저작자나 출판사가 저작권을 가지고 있습니다.

지은이

김영민 서울대학교 사범대학 물리교육학과 졸업
서울대학교 대학원 과학교육학과 석사
서울대학교 대학원 과학교육학과 박사
현 부산대학교 사범대학 물리교육과 교수

김익균 충북대학교 사범대학 과학교육학과 졸업
서울대학교 대학원 과학교육학과 석사
서울대학교 대학원 과학교육학과 박사
현 충북대학교 사범대학 물리교육과 교수

김성원 서울대학교 자연과학대학 물리학과 졸업
한국과학기술원(KAIST) 물리학과 석사
한국과학기술원(KAIST) 물리학과 박사
현 이화여자대학교 사범대학 과학교육과 교수

박병윤 서울대학교 자연과학대학 물리학과 졸업
서울대학교 대학원 물리학과 석사
서울대학교 대학원 물리학과 박사
현 충남대학교 자연과학대학 물리학과 교수

정병훈 서울대학교 사범대학 물리교육학과 졸업
서울대학교 대학원 물리학과 석사
독일 Duisburg대학교 물리학과 물리교육 박사
현 청주교육대학교 과학교육과 교수

박종원 서울대학교 사범대학 물리교육과 졸업
서울대학교 대학원 물리학과 석사
서울대학교 대학원 과학교육과 박사
현 전남대학교 사범대학 물리교육과 교수

김재권 경성대학교 이과대학 물리학과 학사
부산대학교 대학원 과학교육학과 석사
부산대학교 대학원 과학교육학과 박사수료
현 학성고등학교 교사

권경필 단국대학교 자연과학대학 물리학과 졸업
서울대학교 대학원 물리학과 석사
서울대학교 대학원 과학교육학과 박사
현 한성과학고등학교 교사

편 집

편 집 김영철, 박완재, 김용

디자인 국성근, 사람과 디자인

삽 화 김석재, 나무

사 진 김병주, 배소영

서울특별시교육청의 위탁을 받아 **한국과학창의재단**이 감수를 하였음.

고등학교 **물리 I**

2011. 3. 1. 초판 발행 정가 원

지 은 이 : 김영민 외 7인

발 행 인 : 양 철 우

발 행 처 : (주)교학사 서울특별시 금천구 가산동 319-7
서울사무소-서울특별시 마포구 공덕동 105-67

내용 관련 문의 : (주)교학사 편집부 **전화** : (02)707-5100 **전송** : (02)707-5250
* 내용 관련 문의 전화 번호가 바뀔 수 있습니다.
교과서 전용 고객센터 (http://www.kyohak.co.kr/textbook/customer/)를 참조하시기 바랍니다.

도서 구입 안내 : 홈페이지 주소 www.kyohak.co.kr
(주)교학사 영업부 **전화** : (02)707-5155 **전송** : (02)707-5160

SI 접두어

인자	접두어	기호	인자	접두어	기호
10^{-24}	욕토(yocto)	y	10^{1}	데카(deka)	da
10^{-21}	젭토(zepto)	z	10^{2}	헥토(hecto)	h
10^{-18}	아토(atto)	a	10^{3}	킬로(kilo)	k
10^{-15}	펨토(femto)	f	10^{6}	메가(mega)	M
10^{-12}	피코(pico)	p	10^{9}	기가(giga)	G
10^{-9}	나노(nano)	n	10^{12}	테라(tera)	T
10^{-6}	마이크로(micro)	μ	10^{15}	페타(peta)	P
10^{-3}	밀리(milli)	m	10^{18}	엑사(exa)	E
10^{-2}	센티(centi)	c	10^{21}	제타(zetta)	Z
10^{-1}	데시(deci)	d	10^{24}	요타(yotta)	Y

단원별 주집필진



Ⅰ. 시공간과 우주 김성원 (sungwon@ewha.ac.kr)
김익균 (igsci@chungbuk.ac.kr)

Ⅱ. 물질과 전자기장 김영민 (minkiyo@pusan.ac.kr)
권경필 (lk210333@hanmail.net)

Ⅲ. 정보와 통신 박종원 (jwpark94@chonnam.ac.kr)
김재권 (jk2729@pusan.ac.kr)

Ⅳ. 에너지 정병훈 (bhhosw95@cje.ac.kr)
박병윤 (bypark@cnu.ac.kr)





풍력 발전 한국환경공단 환경보전 홍보 사진 2008년 동상 수상작


UNISON



고등학교 물리 I

고등학교

물리 I

(주)교학사



서울특별시교육감 인정
2011. 1. 4. 2011-72-심

고등학교

물리 I

김영민 | 김익균 | 김성원 | 박병윤
정병훈 | 박종원 | 김재권 | 권경필

(주)교학사